



TUTKIMUS AJONEUVOJEN SIJAINNISTA TIEN POIKKILEIKKAUKSESSA

TIE JA VESIRAKENNUSHALLITUS
KÄYTTÖOSASTON LIIKENNETOIMISTO
TVH 742008

HELSINKI 28.2.1978

08
TIE



TUTKIMUS AJONEUVOJEN SIJAINNISTA TIEN POIKKILEIKKAUKSESSA

Heikki Summala, Antti Merisalo ja Jukka Vierimaa

28.2.1978

ISBN-951-46-3479-9

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

ESIPUHE

TIIVISTELMÄ

SAMMANDRAG

1. JOHDANTO	1
2. AJONEUVON SIJAINNIN MITTAAMINEN	4
2.1 Mittausmenetelmä	5
2.2 Mittauslaitteiston rakenne	7
2.3 Mittauslaitteiston toiminta	9
2.4 Ajoneuvotyyppien erottelu	16
3. AJONEUVON SIJAINNIN RIIPPUVUUS ERI TEKIJÖISTÄ	20
3.1 Kaarre	20
3.2 Valoisuus	24
3.3 Ajoneuvotyyppi	26
3.4 Nopeus	29
3.5 Aikaväli	29
4. REUNAVIIIVAN VAIKUTUS AJONEUVOJEN SIJAINTIIN	31
4.1 Ajoneuvon sijainti ennen reunaviivojen maalaamista ja sen jälkeen	33
4.2 Reunaviivan vaikutus liikenneturvalli- suuteen	42
5. JOHTOPÄÄTÖKSET	50

LÄHDELUETTELO

ESIPUHE

On monista syistä tärkeätä tietää, missä kohti tien poikkileikkausta autot ajavat. Tällaisia ovat mm. poikkileikkausten suunnitteluun ja ajoratamerkintöjen samoin kuin optisen johdatuksen suunnitteluun liittyvät vaatimukset samoin kuin turvallisuusnäkökohdat. Myös päällysteiden kulumisen kannalta ko. tieto olisi hyödyllistä. Kun autot ajavat samoja ajolinjoja, tiehen muodostuu uria, jotka suurimmaksi osaksi määräävät päällystystarpeen. Jos autot voitaisiin saada käyttämään kaistaansa leveämmältä alalta - liikenneturvallisuuden kuitenkin vaarantumatta - urien muodostuminen ja samalla päällystystarve vähenisivät.

Tämä tutkimus on ensimmäinen askel siinä työssä, jolla pyritään selvittämään ajoneuvojen sivuttaissuuntaisen sijainnin riippuvuutta eri tie- ja liikenneteknisistä tekijöistä ja etsimään keinoja sijaintiin vaikuttamiseksi.

Tutkimus on tehty tie- ja vesirakennushallituksen ja Helsingin yliopiston psykologian laitoksen yhteistyönä. Kustannuksiin on - erityisesti liikenneturvallisuutta koskevalta osalta - TVH:n lisäksi osallistunut Suomen Akatemia, ja laitteiston suunnittelu- ja rakentamiskustannuksiin työn alkuvaiheessa Liikenneturva. Antti Merisalo on vastannut laitteiston elektroniikkasuunnittelusta, Jukka Vierimaa kirjallisuustutkimuksesta ja aineiston keräämisestä. Matti Roine on toiminut yhdyshenkilönä tie- ja vesirakennushallituksen puolelta.

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa tarkasteltiin ajoneuvojen sijainnin mittaamista tien poikkileikkauksessa ja esiteltiin tarkoitukseen kehitetty laitteisto, jolla sopivissa kulmissa tien yli sijoitettuja valokennoja hyväksikäyttämällä voidaan laskea ohikulkevan ajoneuvon kummankin etupyörän sijainti tiellä. Laitteiston toiminta testattiin ja ajoneuvojen sijaintia tien poikkileikkauksessa tutkittiin mm. valoisuuden, ajoneuvotyypin, nopeuden ja aikavälin funktiona.

Lisäksi tutkittiin mahdollisuuksia vaikuttaa ajoneuvojen sijaintiin niin, että päällysteen kulutus tien poikkileikkauksessa tasoittuisi ja urien muodostuminen vähenisi. Ajoneuvojen sijainti mitattiin tienkohdissa, joissa tien reunaviiva oli kokonaan kulunut, ja uudelleen reunaviivan maalaamisen jälkeen.

Ajolinjakautumissa todettiin muutoksia, jotka viittaavat siihen, että reunaviivan maalaamatta jättäminen tai reunaviivan jaksottainen käyttö vähentää tien urautumista. Tutkimuksessa todettiin myös, että pientareella suorassa tienkohdassa kävelevän jalankulkijan turvallisuus, mitattuna jalankulkijan ja autojen välisellä etäisyydellä, ei reunaviivan puuttuessa ole heikentynyt.

SAMMANDRAG

UNDERSÖKNING AV FORDONENS LÄGE I VÄGENS TVÄRSEKTION

Undersökningen gällde mätning av fordonens läge i vägens tvärsektion och i den framlades för ändamålet utvecklad apparatur, som tillsammans med fotoceller som placerats över vägen i lämpliga vinklar kan användas för beräkning av ett passerande fordons bäge framhjuls läge på vägen. Apparaturens funktion testades och fordonens läge i vägens tvärsektion undersöktes bl.a. som ljusstyrkans, fordonstypens, hastighetens och tidsspannets funktion.

Dessutom undersöktes möjligheterna att påverka fordonens läge på så sätt att beläggningsslitaget i vägens tvärsektion skulle utjämnas och spårbildningen minska. Fordonens läge mättes i vägpunkter där vägens kantmarkering var helt bortsliten och på nytt då markeringen målats om.

Förändringar kunde konstateras i körlinjefördelningarna, vilket tyder på att spårbildningen är mindre om kantmarkeringen saknas eller om den används sporadiskt. Undersökningen visade också, att en fotgängares säkerhet mätt som avståndet mellan fotgängaren och bilarna då han vandrar vid vägkanten längs en rak sträcka inte minskar till följd av att kantmarkeringar saknas.

1. JOHDANTO

Ajoneuvoliikenne kuluttaa teittemme päällysteitä vuosittain n. 400 mmk:n arvosta, ja nimenomaan niin, että tiehen kuluvat urat määräävät hyvin pitkälle uudelleenpäällystystarpeen, ja urien ulkopuolella jää huomattavalta alalta päällystettä suorastaan käyttämättä. Yksi tapa vähentää urien muodostumista olisi saada autot kuluttamaan päällystettä tasaisemmin.

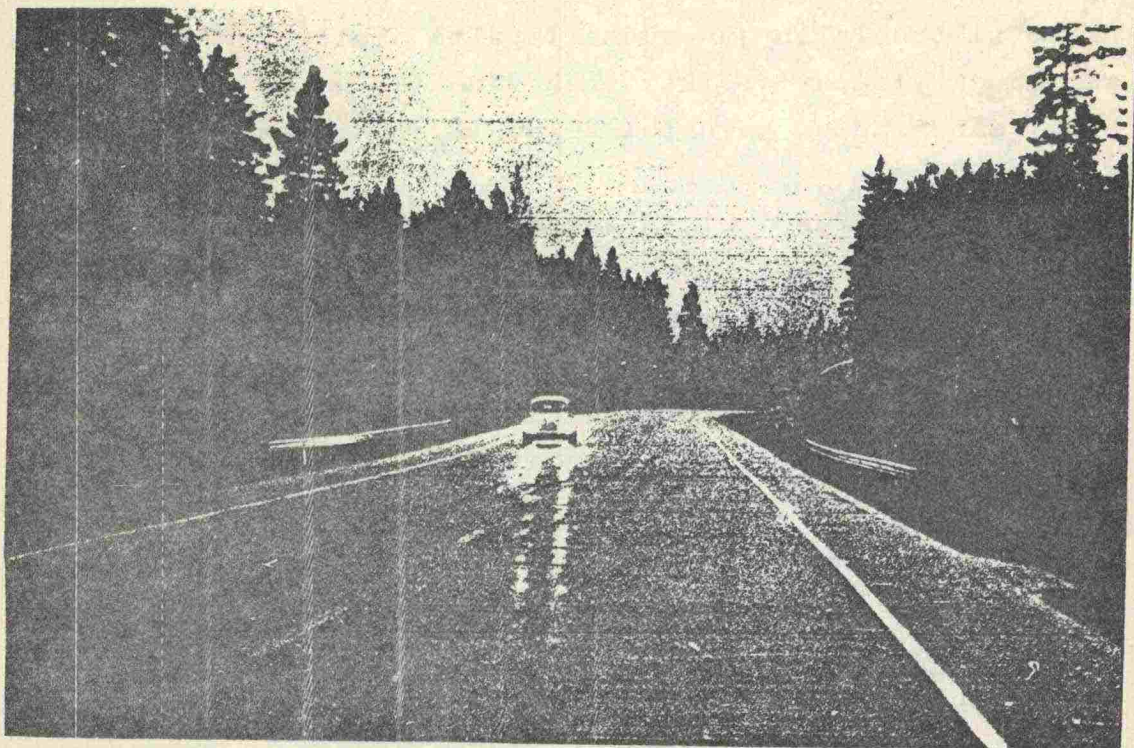
Tämä voi tapahtua lähinnä kahdella tavalla. Voidaan pyrkiä lisäämään ajoneuvojen sijainnin hajontaa tien poikkileikkauksessa niin, että ajolinjajakautuman huippu alenee ja uran muodostuminen hidastuu. Toisaalta voidaan pyrkiä siirtämään ajoneuvojen sijaintia tien poikkileikkauksessa sopivissa jaksoissa niin, että suurimman kulutuksen kohdat (ajolinjajakautuman huippukohdat) vaihtelevat jaksoittain. Jaksot voivat olla vuoden tai kahden mittaisia tai ne voivat vaihdella vuodenaika- tai vuorokausivaihtelun myötä.¹

Tässä raportissa tarkastellaan pääpiirteissään niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat ajoneuvojen sijaintiin, ja vaikutusmahdollisuuksien osalta rajoitetaan tarkastelu vain yhteen toimenpiteeseen, reunaviivan hyväksikäyttöön ajoneuvojen sijaintiin vaikuttamiseksi. Halvimmillaan tämä merkitsee sitä, että annetaan reunaviivojen kulua täysin (tai lykätään niiden maalaamista päällystystöiden jälkeen) ja odotetaan sopiva aika ennen niiden uudelleenmaalaamista.

Reunaviivan mahdollisen hyväksikäytön tutkiminen perustuu ajorataa maalausten erityisesti huonoissa näkyvyysolosuhteissa, sateessa, sumussa ja pimeällä, tarjoamaan optiseen ohjaukseen. Kun yhtenäisestä reunaviivasta heijastuu n. kolme kertaa niin paljon valoa kuin katkonaisesta keskiviivasta (ja epäsymmetriset lyhyet valot vielä lisäävät eroa), voidaan olettaa, että autoilijat tukeutuvat enemmän reunaviivaan ja ajavat lähempänä sitä (ks. kuva 1). Jos reunaviiva on kulunut tai puuttuu, voidaan puolestaan olettaa, että autoliijoiden on pakko suun-

¹ Esim. vuorokausivaihtelua (valoisuuden mukaan) esiintyy ilman mitään toimenpiteitäkin; ks. luku 3.

nistaa keskiviivaan tukeutuen ja he ajavat lähellä sitä. Hyvis-
sä näkyvyysolosuhteissa - silloin kun tien pinnan ja ympäristön
kontrasti on hyvä - tällaista vaikutusta ei ole odotettavissa.



Kuva 1. Märkä tie iltahämärässä

Ulkomaiset tutkimustulokset näyttävät olevan jonkin verran ris-
tiriitaisia reunaviivan vaikutusten suhteen. Pääasiallisesti
1950-luvulla - sen jälkeen kun reunaviivan käyttö sodan jälkeen
oli alkanut yleistyä - suoritettiin Yhdysvalloissa useita tutki-
muksia reunaviivan vaikutuksesta ajoneuvojen sijaintiin (mm.
Thomas & Taylor, 1960; Williston, 1963; Arizona Highway
Department, 1963). Useimmissa tapauksissa reunaviivan lisäämi-
nen (keskiviiva oli jo käytössä) siirsi ajoneuvoja tien keski-
viivan suuntaan niin päivällä kuin pimeälläkin. Päinvastainen
tulos saatiin kuitenkin uudemmassa neuvostoliittolaisessa tutki-
muksessa (Siljanov, 1968), jossa reuna- (ja keski-) viivan li-
sääminen siirsi ajolinjoja kaarteissa reunemmalle. Samoin reu-
naviivan lisääminen siirsi ajolinjoja lähemmäksi reunaa unkari-
laisessa tutkimuksessa (Wehner, 1971; ks. O'Flaherty, 1972).
Tuloksia selittänevät erot mittauspaikoissa ja yleisemminkin
tiestössä, ajoneuvokannassa, nopeuksissa ym. tekijöissä. Myös

on otettava huomioon se, että reunaviivojen käyttö oli amerikkalaisten tutkimusten suorittamisen aikaan vielä varsin uusi asia. Näistä seikoista johtuen ei ko. tutkimuksia voida pitää aivan vertailukelpoisina Suomenkaan nykyisissä olosuhteissa.

Tämän raportin toisessa osassa tarkastellaan ajolinjojen mittaamista yleensä ja esitellään lähemmin Helsingin yliopiston psykologian laitoksella tarkoitukseen kehitetty laitteisto, joka on luonut perustan tämän tutkimuksen suorittamiselle. Kolmannessa osassa tarkastellaan pääpiirteittäin joitakin tekijöitä, jotka vaikuttavat ajoneuvon sijaintiin (kaarteisuus, valoisuus, ajoneuvotyyppi, nopeus, aikaväli). Neljännessä osassa esitetään tuloksia siitä, miten reunaviiva vaikuttaa ajoneuvojen sijaintiin tien poikkileikkauksessa ja myös joitakin tuloksia siitä, miten se vaikuttaa liikenneturvallisuuteen. Lopuksi tarkastellaan tämän tutkimuksen valossa jatkomahdollisuuksia ajoneuvojen sijaintiin vaikuttamiseksi: voidaanko päällysteiden urautumista saada vähenemään pelkästään reunaviivojen avulla ja mihin toimenpiteisiin jatkossa voitaisiin ryhtyä.

2. AJONEUVON SIJAINNIN MITTAAMINEN

Ajoneuvon sijaintia tien poikkileikkauksessa on mitattu varsin monin eri tavoin. Yksinkertaisinta on havainnoiminen. Tiehen merkitään mitta-asteikko, josta havainnoija arvioi ajoneuvon pyörän sijainnin (Kaukinen, 1971; Summala, 1974); voidaan myös käyttää erillistä, tien yli pingoitettua mitta-asteikkoa (Lehtimäki, 1971). Tehtävä on kuitenkin varsin vaativa ja systemaattistenkin virheiden mahdollisuus suuri (ks. Summala, 1974, s. 40-41).

Luotettavampaan tulokseen päästään valokuvaamalla ajoneuvon sijainti ajoradalla, mutta aineiston purkaminen on erittäin työlästä (Thompson, 1937; Green, 1946; Case ym., 1953; Bondestam, 1965; Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1976). Erilaisten mekaanisten tai sähköisten segmentoitujen ilmaisimien käyttö on puolestaan hankalaa, ja ennen kaikkea huono puoli niissä on se, että ne näkyvät hyvin tiellä (Williston, 1960; Knoflacher & Schrammel, 1975). Näillä laitteilla päästään kuitenkin kohtuullisin kustannuksin suuriinkin otoksiin.

Geller, Damkot ja Toussie (1975) ovat vastikään kehittäneet automaattisen ja liikuteltavan mittausjärjestelmän ajoneuvojen sijainnin mittaamiseen, mutta sen käyttö on rajoitettu hämärään ja pimeään aikaan. (Järjestelmässä kuvataan autoja takaapäin videokameralla ja autojen sijainti lasketaan takavalojen sijainnista kuvassa).

Lähtien siitä, että ajoneuvojen sijainti tien poikkileikkauksessa pitäisi pystyä mittaamaan missä tahansa kaksiajokaistaisilla teillä tarkasti, pienin kustannuksin ja niin, etteivät autoilijat saisi vihiä mittauksesta, Helsingin yliopiston psykologian laitoksella ryhdyttiin syksyllä 1976 kehittämään laitteistoa tähän tarkoitukseen. Prototyyppi oli valmis helmikuussa 1977, ensimmäiset kenttäkokeilut tehtiin huhtikuussa 1977, ja laitteiston testausta on jatkettu tämän tutkimuksen kuluessa kesän ja syksyn 1977 aikana.

2.1 Mittausmenetelmä

Ajoneuvon paikan määrittäminen tien poikkileikkauksessa perustuu trigonometriaan. Tien yli suunnataan ajoneuvojen pyörien korkeudella (yksinkertaisimmassa versiossa) neljä valokennoa, kaksi yhdensuuntaista ja kaksi tietyssä kulmassa yhdensuuntaisiin nähden (kuva 2). Ohittaessaan mittauspaikan ajoneuvo katkaisee tien toiselta puolelta peilistä heijastuvat infrapunasäteet ja eri kennojen katkeamishetkien välisistä ajoista voidaan laskea ajoneuvon nopeus (kun tunnetaan kahden yhdensuuntaisen säteen välinen etäisyys) ja kummankin etupyörän ulkoreunan etäisyys vinojen säteiden leikkauspisteestä (jonka etäisyys tien reunaviivasta tunnetaan):

$$(1) \quad v = s/t_2$$

$$(2) \quad d_1 = v \cdot \cot \alpha \cdot t_1$$

$$(3) \quad d_2 = v \cdot \cot \alpha \cdot t_3$$

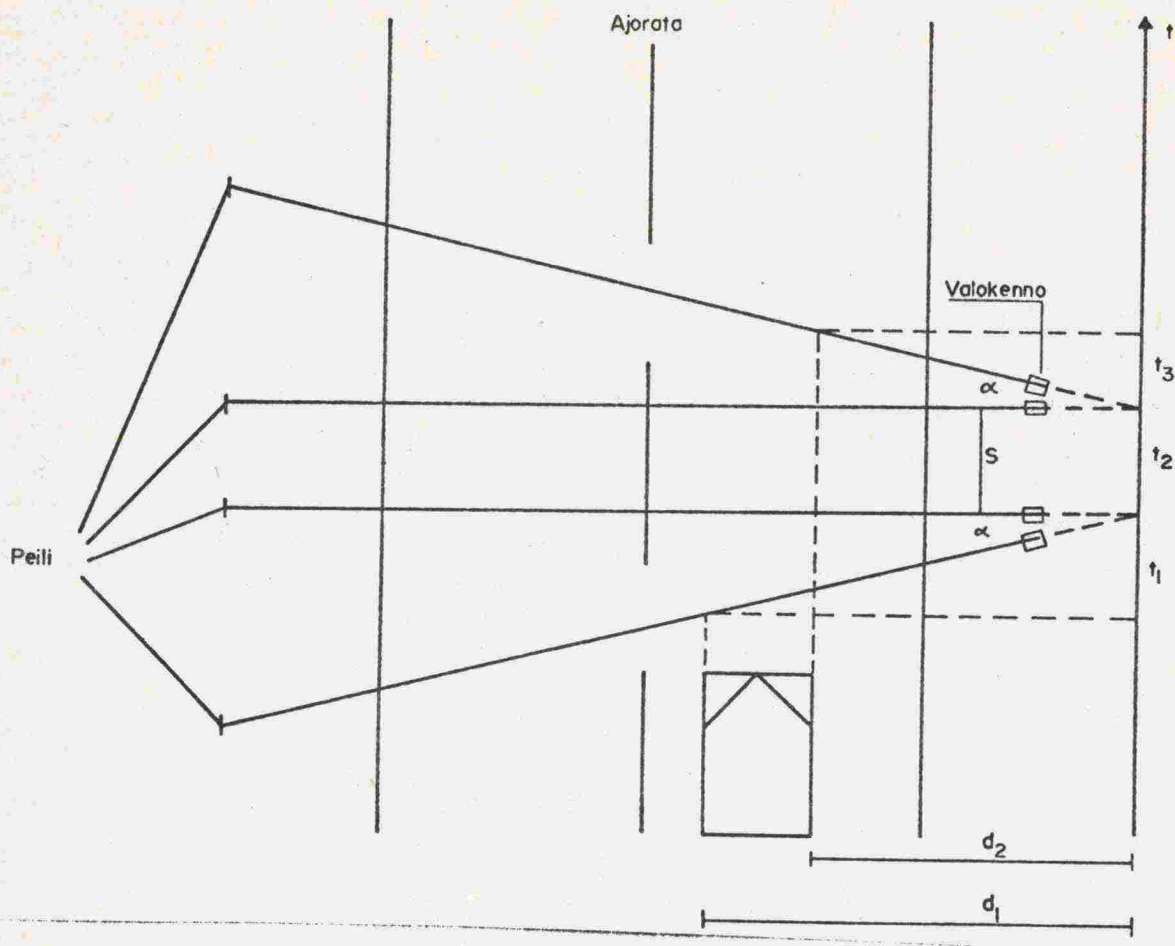
Tämä mittausmenetelmä edellyttää, että (a) ajoneuvot kulkevat vakionopeudella ja (b) ajoneuvot kulkevat tien reunaviivan suuntaisesti (jota vastaan kohtisuoraan kaksi yhdensuuntaista sädetä on asetettu). Kiihtyvyys tai hidastuvuus voidaan kyllä mitata lisäämällä järjestelmään kolmas yhdensuuntainen säde ja etäisyyslaskelmia voidaan vastaavasti korjata, mutta aivan poikkeavia mittauspaikkoja lukuunottamatta sillä ei ole käytännössä merkitystä.

Ajoneuvon tarkka kulkusuunta suhteessa tien reunaviivaan ja sen mukaisesti korjattu etäisyys voidaan saada lisäämällä yksi yhdensuuntaisten säteiden kanssa tunnetussa kulmassa oleva säde kuva 3 mukaisesti. Tällöin ajoneuvon nopeus, kulkusuunta ja etäisyys säteiden leikkauspisteestä saadaan seuraavasti:

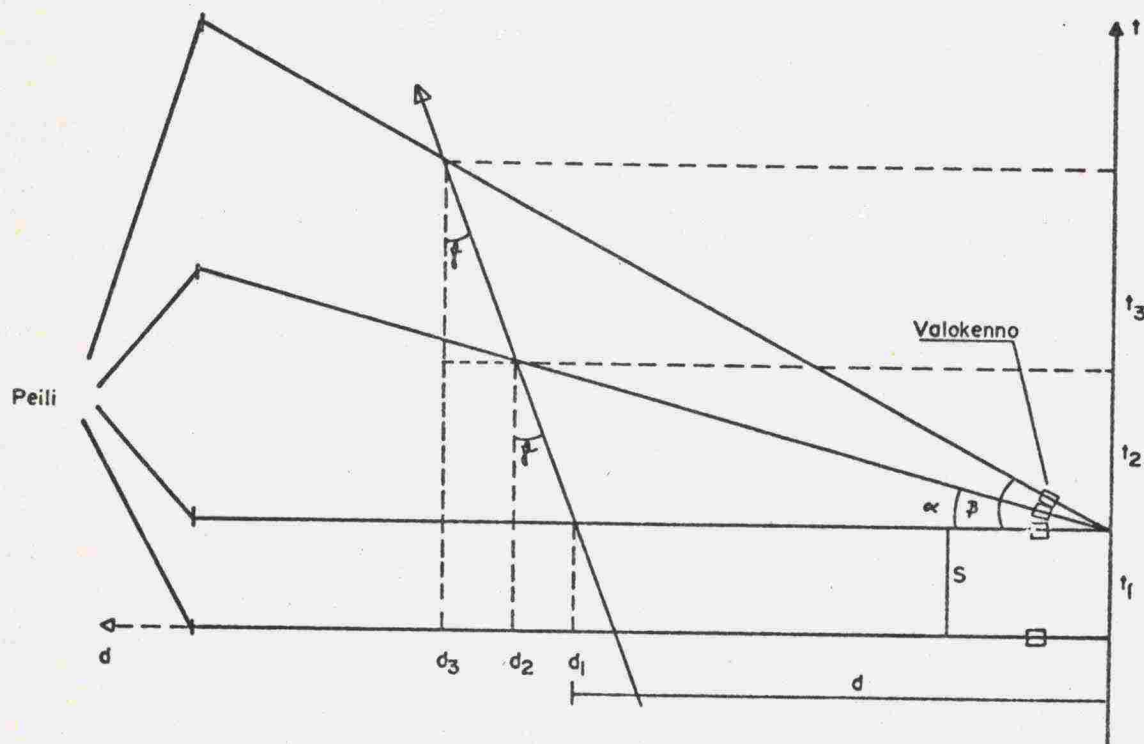
$$(4) \quad v = \frac{s \cdot \sqrt{(\tan \gamma)^2 + 1}}{t_1}$$

$$(5) \quad \tan \gamma = \frac{|(t_2 + t_3) \cdot \cot \beta - t_2 \cdot \cot \alpha|}{t_3}$$

$$(6) \quad d = v \cdot (t_2 \cdot \cot \alpha \pm t_2 \cdot \tan \gamma)$$



Kuva 2. Ajoneuvojen sijainnin mittaamismenetelmä: yksinkertainen versio



Kuva 3. Ajoneuvojen sijainnin ja kulkusuunnan mittaamismenetelmä

Käytännössä on kuitenkin kuvan 1 versio osoittanut riittäväksi useimmissa tapauksissa.

2.2 Mittauslaitteiston rakenne

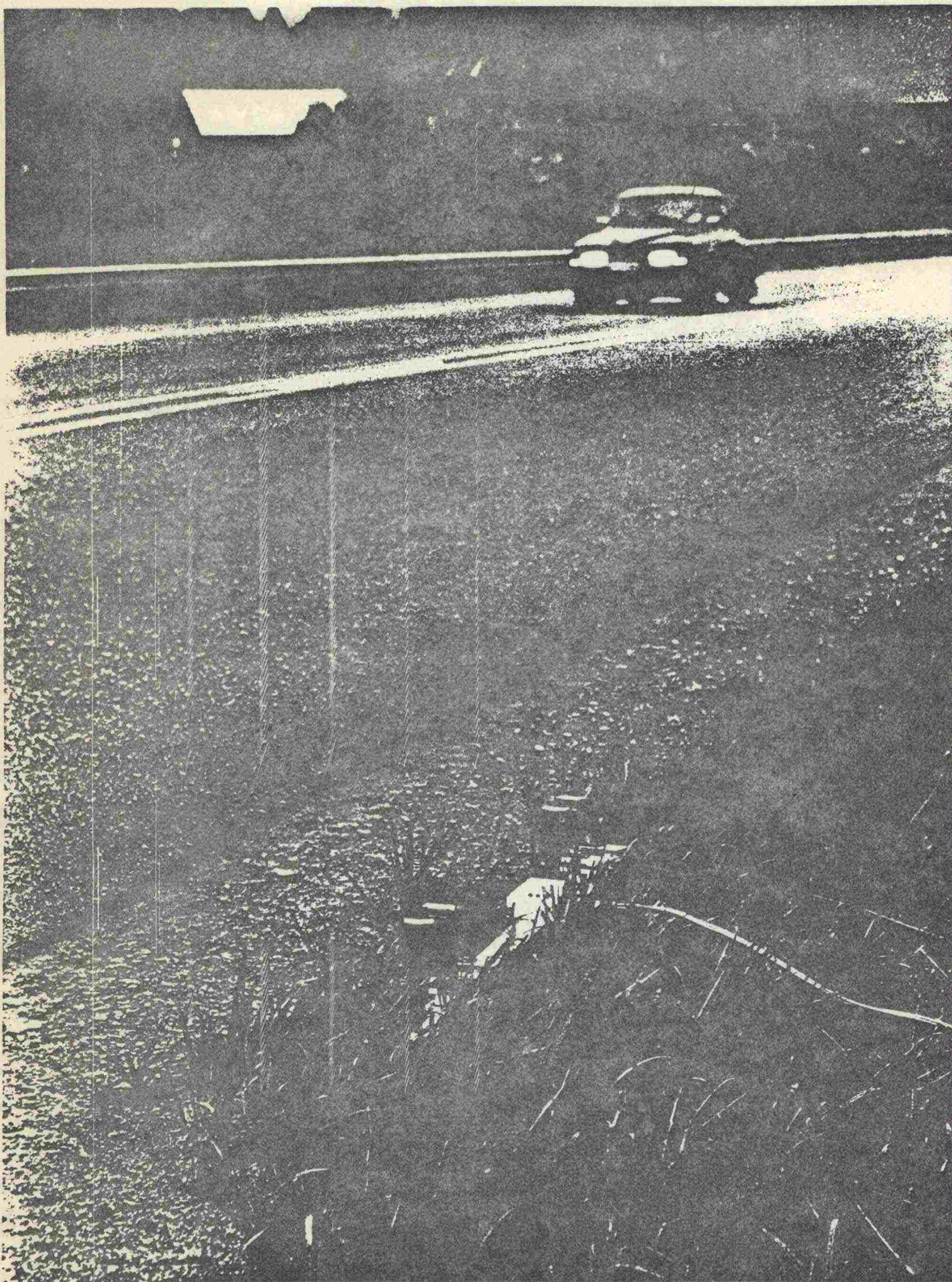
Ilmaisisimina on toistaiseksi käytetty varsin huokeita infrapuna-alueella toimivia valolähde-vastaanotinyksiköitä (Electromatic IRE10). Nämä on kiinnitetty samaan palkkiin välikappaleilla, jotka mahdollistavat tarkan suuntauksen sekä vaaka- että pysty-tasossa (kuva 4).

Logiikka- ja kontrolloiysikön muodostaa F8-mikroprosessori, jonka kahden kilotavun luku- ja kirjoitusmuistiin kontrolloiohjelma ladataan audiokasetilta. Kennojen tilan lisäksi ohjelma voi lukea informaatiota näppäimistöltä sekä joistakin kytkimistä. Lisäksi laitteistossa on kahdeksan numeron LED-näyttö, johon voidaan mittauksen aikana tulostaa haluttujen muuttujien arvoja. Tallennuslaitteena on digitaalinen magneettinauhayksikkö, josta data voidaan purkaa suoraan tietokoneeseen. Virtalähteenä on tässä tutkimuksessa käytetty Honda-polttomootorigeneraattoria.

Laitteistoa suunniteltaessa on tavoitteena pidetty sitä, että tieto käsitellään jo mittauksen kestäessä mahdollisimman pitkälle. Laskemalla mittaustulokset haluttuun muotoon ja esittämällä tämä numeerisesti näytössä voidaan jo maantiellä varmistua laitteiston oikeasta toiminnasta. Toiseksi, aineisto voidaan tallettaa magneettinauhalle niin valmiissa muodossa (ja halutussa formaatissa), ettei se vaadi yleensä muuta tietokonekäsittelyä kuin tilastollisen analyysin. Tämä vähentää huomattavasti tietokonekustannuksia.

Toisaalta laitteisto omaa erittäin suuren joustavuuden. Mittausjärjestelmän muutos edellyttää vain kontrolloiohjelman muutosta (siis maantiellä toisen ohjelman lataamista kasetilta), eikä laitteiston käyttö näin ollen ole rajoitettu vain yhteen tarkoitukseen, sillä myös käytettäviä ilmaisimia voidaan joustavasti vaihtaa.²

² Luku- ja kirjoitusmuisti on laajennettavissa aina 64 kilotavuun, joten suurikin ohjelma- tai puskurimuistitilan tarve voidaan tyydyttää.



Kuva 4. Ajolinjamittaus käynnissä. Kokeiluvaiheen jälkeen mittauslaite maalattiin naamiointivärillä.

2.3 Mittauslaitteiston toiminta

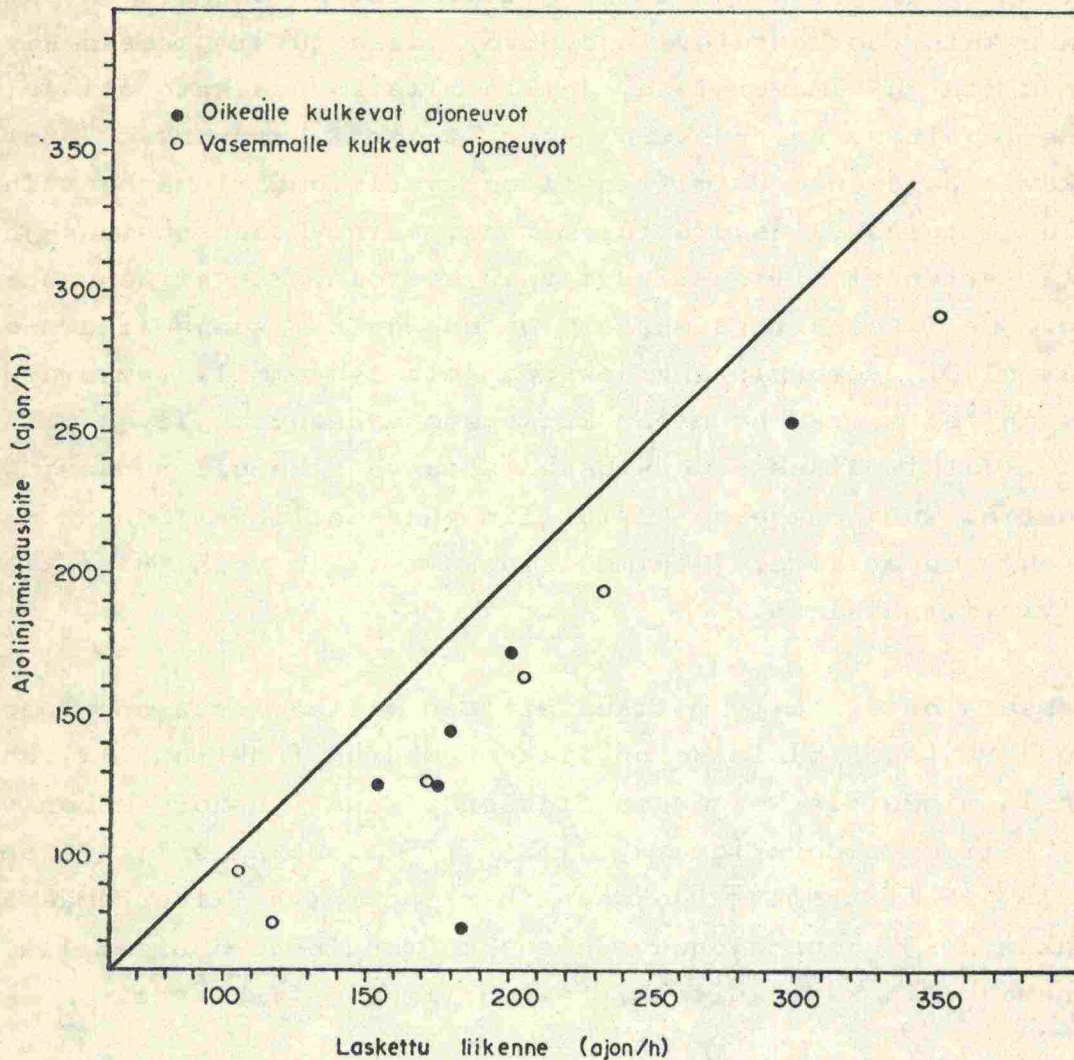
Kun kaksikaistaisella tiellä käytetään yli tien mittaavia valo-sähköisiä ilmaisimia, menetetään osa ohikulkevista ajoneuvoista, nimittäin ne, jotka ohittavat mittauspisteen täsmälleen samaan aikaan kuin vastaantuleva ajoneuvo. Tässä tutkimuksessa käytettiin kahta ohjelmaversiota, joilla mitattaessa kato oli erisuuruinen. Toinen, ns. puskuroimaton, tulosti kumpaankin suuntaan kulkevien ajoneuvojen mittaustiedot välittömästi magneettinauhalle ja toinen, puskuroitu, mittasi vain yhteen suuntaan ja tulosti kertyneet mittaustiedot vain silloin, kun siihen annettiin lupa. Edellisessä versiossa tulostus- ja ns. suoja-aika muodostivat n. 0.5 sekunnin ajanjakson, jota lyhyemmillä aikaväleillä vastaan tai samaan suuntaan kulkeneet ajoneuvot jäivät mittaamatta. Jälkimmäisessä versiossa vastaava aika oli runsaat 0.1 sekuntia. Tutkimuksessa käytettiin pääasiallisesti ensin mainittua ohjelmaversiota; jälkimmäistä käytettiin vain joissakin erityismittauksissa.

Kuvassa 5 on esitetty mittauslaitteen mittaamien ajoneuvojen lukumäärä (ajon/h) lasketun liikennemäärän funktiona 12 vähintään 15 minuuttia kestäneen otoksen aikana (puskuroimaton versio). Siitä voidaan todeta, että n. 15 % ohikulkevista ajoneuvoista jää mittaamatta jokseenkin riippumatta liikennemäärästä ainakin n. 350:een ajoneuvoon saakka tunnissa. Suuremmilla liikennemäärillä kato kuitenkin aivan ilmeisesti kasvaa.

Käytetyt mittausohjelmat tulostivat magneettinauhalle ohikulkevan ajoneuvon kulkusuunnan, nopeuden, oikean ja vasemman etupyörän sijainnin, aikavälin edelläajavaan, aikavälin vastaan-tulleeseen ja lisäksi näppäimistöltä mahdollisesti annetun tiedon. Näytössä esitettiin näppäimistöltä annettu tieto, ajoneuvon nopeus ja mittauksen alussa valittava muuttuja - jomman-kumman pyörän etäisyys, jompikumpi aikaväli tai ajoneuvon leveys. Laitteiston korrekti toiminta voitiin näin ollen helposti todeta.

Tarkka etäisyyden mittaus edellytti laitteiston (kennojen ja peilien) huolellista sijoittamista. Puomi, johon kennot oli kiinnitetty, asetettiin tien reunaviivan suuntaisesti tien

oheen, ja peilit sijoitettiin tien toiselle puolelle tarkasti mitattuihin pisteisiin niin, että säteiden väliset kulmat olivat oikeat.



Kuva 5. Mittauslaitteen mittaamien ajoneuvojen lukumäärä lasketun liikennemäärän funktiona.

Tutkimuksessa käytetyt valokennot olivat sen verran heikkotehoiset, että tarvittiin usean kymmenen neliösenttimetrin suuruinen heijastipinta, jotta riittävästi energiaa olisi palannut vastaanottimiin. Tämä esti sen, että eri suuntiin kulkevien autojen pyörät olisivat katkaisseet säteen täsmälleen samalla suoralla, ja niinpä säteen katkaisukohta saatiin riittävän tarkaksi vain yhteen suuntaan ajaville ajoneuvoille kerrallaan ja näin ollen saatiin mitatuksi vain yksi suunta kerrallaan.

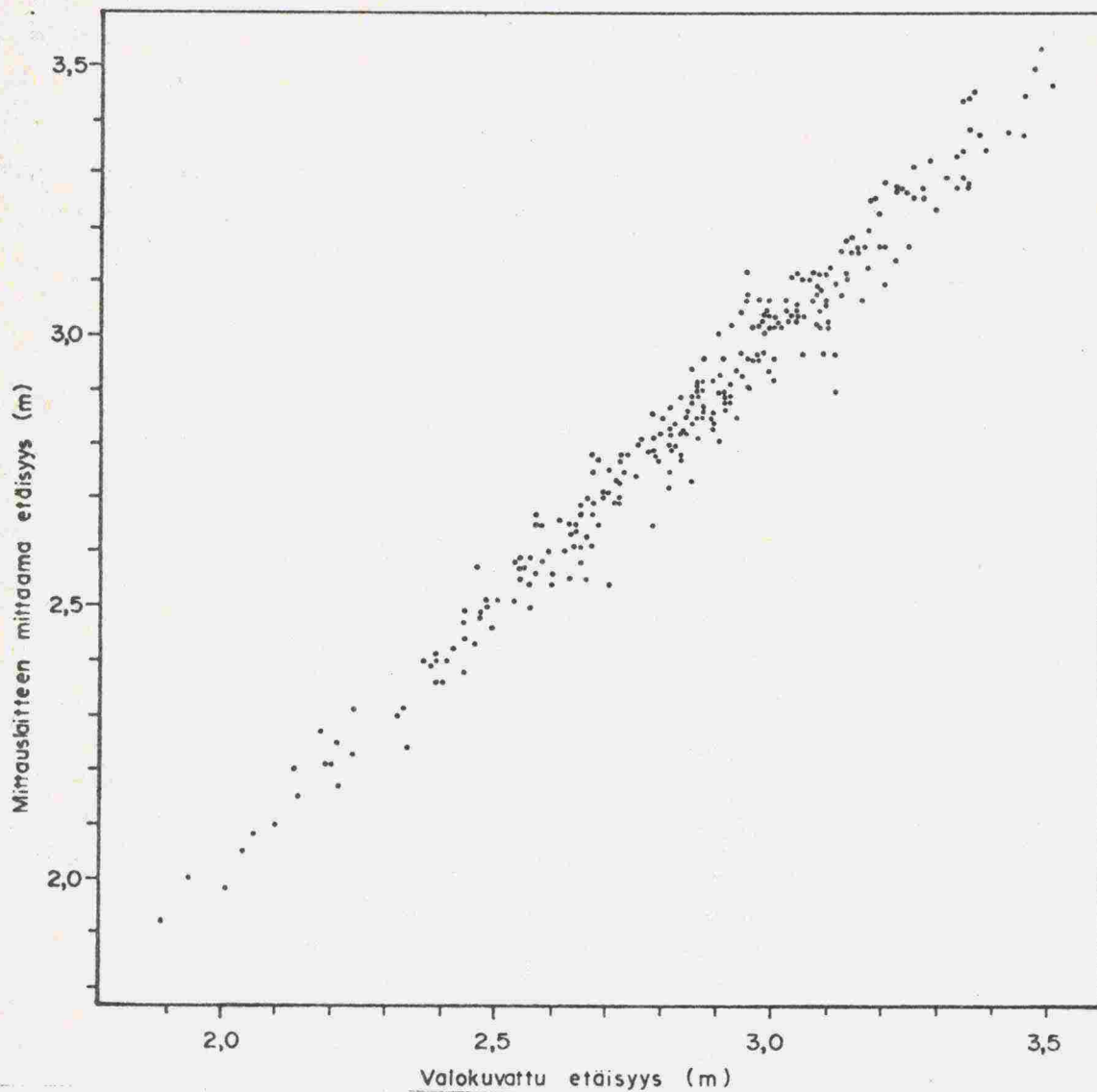
Laitteiston kalibrointi suoritettiin kullakin mittauskerralla niin, että näppäimistöltä ilmoitettiin aina kun tietty auto (esim. Saab 96, Saab 99, Lada) ajoi ohi ja auton mitattua leveyttä verrattiin sen todelliseen, tunnettuun leveyteen (eturenkaiden ulkosyrjien välinen etäisyys). Tutkimuksen kestäessä kävi ilmi, että ajoradan poikittaiskaltevuus (tai oikeammin infrapunasäteen ja ajokaistan pinnan välinen kulma) aiheutti joissakin mittauspaikoissa virhettä, jonka suuruus voitiin kuitenkin em. kalibrointitavalla laskea ja virhe korjata.

Laitteiston etäisyydenmittaustarkkuutta testattiin valokuvamalla ajoneuvojen sijainti kohtisuoraan edestä (sillalta) samalla kun niiden sijainti mitattiin laitteistolla. Heijastamalla kuvat suureen kokoon voitiin valokuvattu sijainti laskea, kun asteikko saatiin reuna- ja keskiviivan välisestä etäisyydestä.

Kuvassa 6 on esitetty mittauslaitteen ilmoittama ja vastaava valokuvattu etäisyys tien keskiviivasta (yksi asennuskerta, kaukaisempi pyörä). Korrelaatio on tässä tapauksessa .990 ($n = 205$) ja eri asennuskerroilla ja eri pyöristä laskettuna se vaihteli välillä .945-.990.

Laitteiston teoreettinen mittaustarkkuus on n. 1 cm, mutta kuvasta voidaan havaita, että vaihteluväli diagonaalin ympärillä on enimmillään n. 20 cm ja tarkkuus siten n. 10 cm:n luokkaa. Todellinen mittauslaitteiston virhe lienee kuitenkin jonkin verran pienempi, koska osa todetusta virheestä aiheutunee valokuvausmenetelmästä mm. hivenen mutkittelevan reunaviivan ansiosta. "Todellista" virhettä puolestaan aiheuttaa ainakin pyörän pomppiminen tiellä (ks. Rörbech, 1974, s. 196), mutta kymmenenkin senttimetrin mittaustarkkuutta (n. 2/3 henkilöauton pyörän leveydestä) voidaan pitää useimmissa tapauksissa riittävänä.

Mittauslaitteen laskemia aikavälejä testattiin vertaamalla niitä aikavälipiirturilta laskettuihin (painonapeilta merkittyihin) aikaväleihin. Aikavälit laskettiin 0.1 s:n tarkkuudella, mutta vain 25.5 sekuntiin saakka: jos aikaväli oli suurempi, laite antoi tulokseksi 25.5 s.



Kuva 6. Mittauslaitteen ilmoittama ajoneuvon kaukaisemman pyörän etäisyys keskiviivasta valokuvatun etäisyyden funktiona.

Kuvassa 7 on esitetty mittauslaitteen tulostama aikaväli edelläajavaan aikaväliپیirturilta mitatun funktiona (puskuroimaton mittausohjelma). Selvästi diagonaalilta poikkeavat havainnot ovat tapauksia, joissa jokin ajoneuvo on jäänyt kokonaan rekisteröimättä. Pienet, 0.1-0.2 sekunnin suuruiset virheet johtuvat todennäköisimmin siitä, että ohikulkevat ajoneuvot rekisteröitiin aikaväliپیirturille käsin näppäimistöltä.

Kuvassa 8 on esitetty mittauslaitteen tulostama aikaväli vastaantulleeseen aikapiirturilta mitatun vastaavan aikavälin funktiona (puskuroimaton ohjelma). Kokonaan rekisteröimättä jääneet ajoneuvot aiheuttavat jälleen joitakin huomattavia virheitä.

Aikaväli vastaantulevaan on ongelmallisempi mitattava. Laitteisto tulosti nimittäin mittaustiedot ajoneuvokohtaisesti - kunkin ajoneuvon omana tietueenaan - ja aikaväliä tulevaan tapahtumaan ei tähän tietueeseen tietenkään sisälly. Tässä tutkimuksessa aikaväli vastaantulevaan laskettiin jälkeinpäin tietokoneella käyttämällä hyväksi eri suuntiin kulkevien ajoneuvojen aikaväli-tietoja seuraavasti (ks. kuva 9):

$$(7) \quad t_a = t_e - t_v, \quad \text{jossa}$$

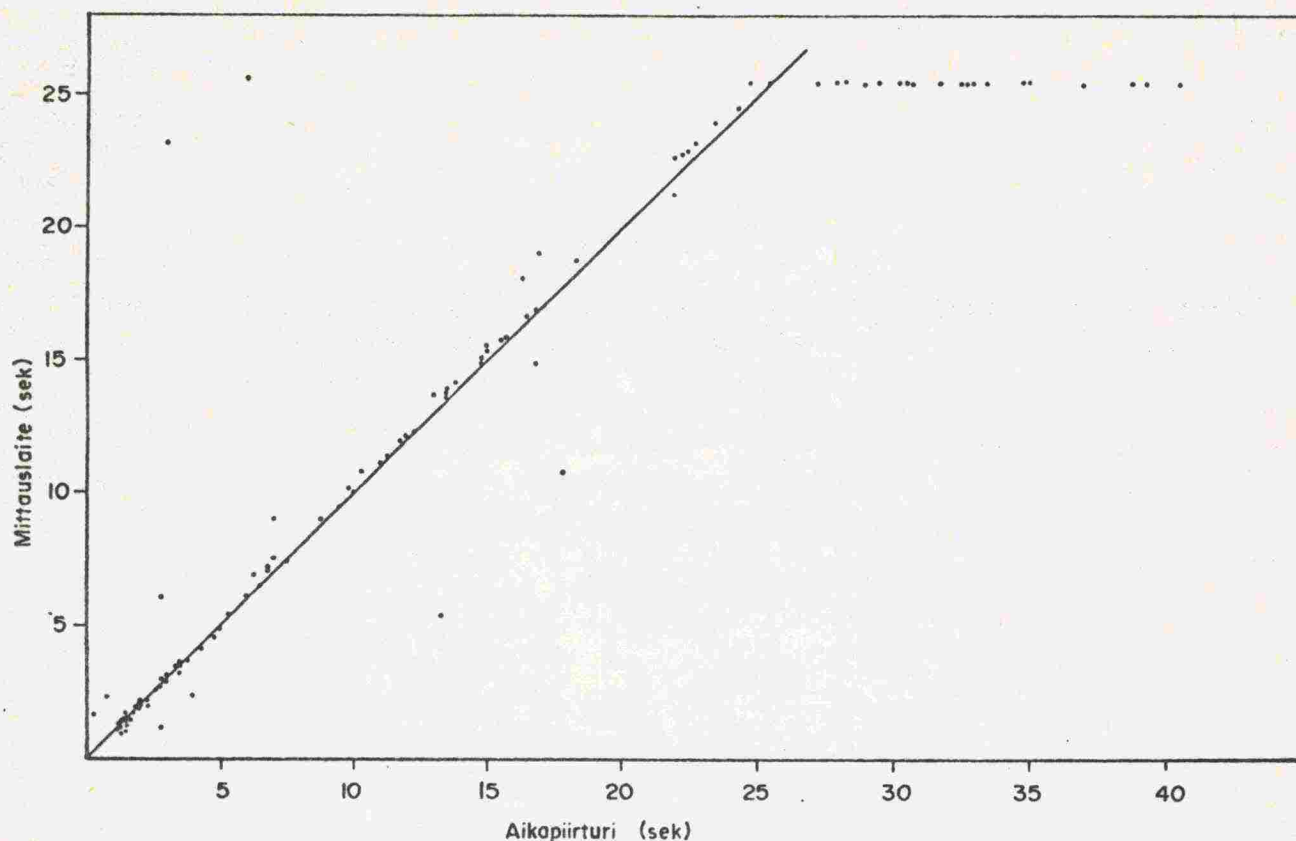
t_a = aikaväli vastaantulevaan autolle 1,

t_e = aikaväli edelläajavaan autolle 1, ja

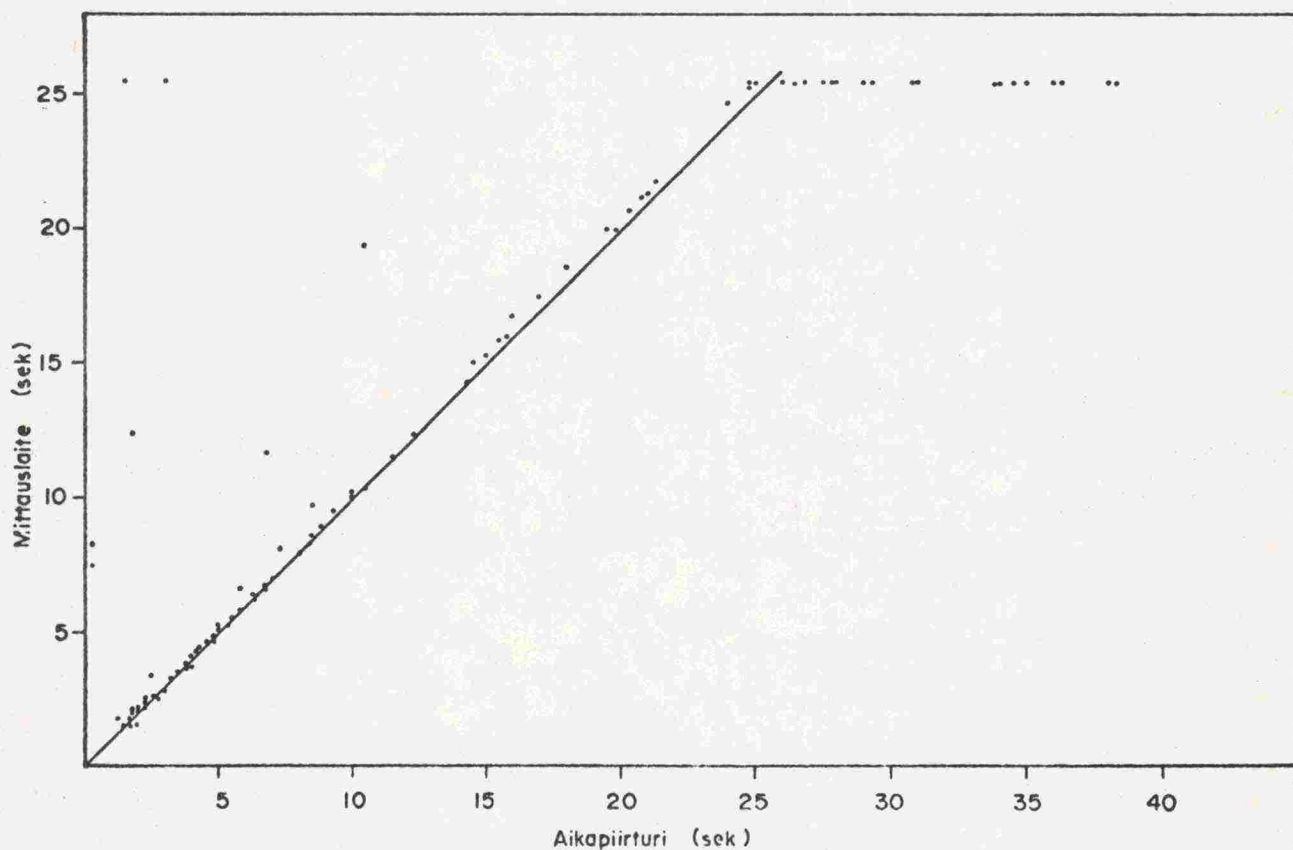
t_v = aikaväli vastaantulleeseen autolle 2.

Ongelman aiheutti se, että aikavälejä laskettiin vain 25.5 sekuntiin saakka, ja jos jompikumpi mitatuista aikaväleistä (t_e tai t_v) oli tässä maksimiarvossaan, ei aikaväliä vastaantulevaan voitu laskea. Tällaisissa tapauksissa ko. muuttujalle annettiin arvo 25.6 eikä näitä tapauksia otettu mukaan analyysiin. Tämä näkyy selvästi kuvassa 10, jossa on esitetty em. tavalla laskettu aikaväli vastaantulevaan aikapiirturilta lasketun funktiona. Ko. tapaukset pois lukien korrelaatio on varsin hyvä.³

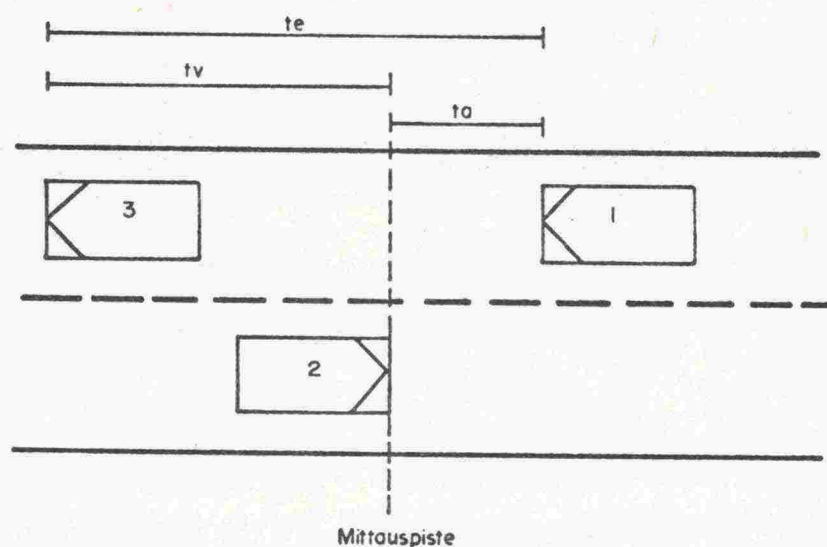
³ Vastaisuudessa tullaan kullekin ajoneuville tulostamaan realiaika, jona ne ohittavat mittauspaikan. Näin voidaan aikaväli vastaantulevaan luotettavammin laskea ja ennen kaikkea saadaan kaikki tapaukset mukaan.



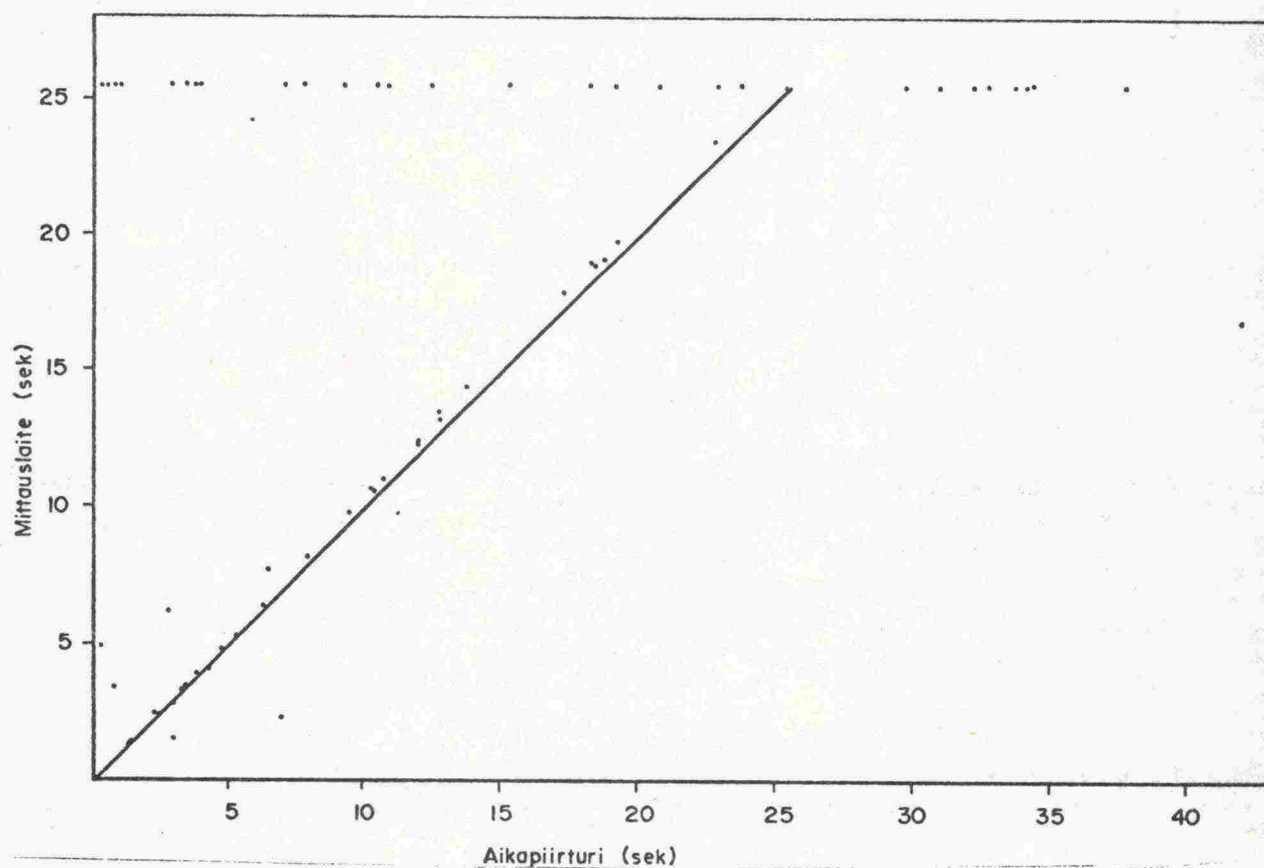
Kuva 7. Mittauslaitteen tulostama aikaväli edelläajavaan aikavälipiirturilla mitatun funktiona.



Kuva 8. Mittauslaitteen tulostama aikaväli vastaanulleeseen aikavälipiirturilla mitatun funktiona.



Kuva 9. Aikavälit vastaantulevaan (autolle 1, t_a), edelläajavaan (autolle 1, t_e) ja vastaantulleeseen (autolle 2, t_v).



Kuva 10. Aikaväli vastaantulevaan aikavälipiirturilla mitatun funktiona.

2.4 Ajoneuvotyyppien erottelu

Mahdollisimman automaattiseen mittaukseen pääsemiseksi myös autotyyppit pyrittiin erottelemaan automaattisesti, niiden leveyden perusteella. Ajoneuvot jaettiin kahteen luokkaan, pienet autot (leveys pienempi tai yhtä suuri kuin 170 cm) ja isot autot (leveys suurempi kuin 170 cm).

Kuvassa 11 on esitetty henkilö-⁴, paketti- ja kuorma-autojen leveysjakautumat mittauspisteessä 9 kerätyssä otoksessa. Vastaavat tunnusluvut on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Henkilö-, paketti- ja kuorma- ja linja-autojen leveys (cm), mittauspiste 9.

Autotyyppi	Keskiarvo	Hajonta	Lukumäärä
Henkilöautot ⁴	149.2	11.6	225
Pakettiautot	167.8	15.9	153
Kuorma- ja linja-autot	194.9	11.7	282

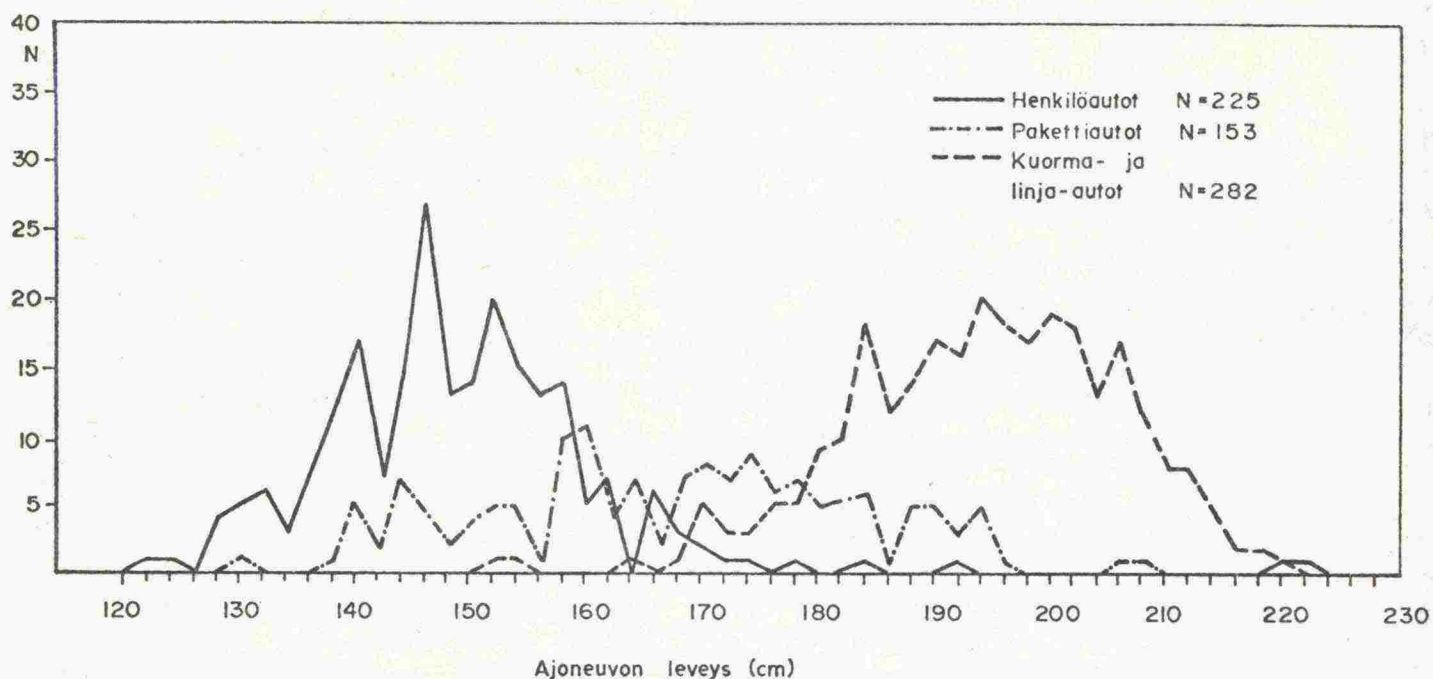
Henkilöautoista joutuisi tässä otoksessa 170 cm:n leveyskriteerin mukaan isojen autojen ryhmään 2.3 % ja kuorma-autoista pienten autojen ryhmään 2.8 %. Pakettiautot joutuvat kriteerin perusteella leveytensä mukaisesti joko pienten tai isojen autojen ryhmään, tässä otoksessa kutakuinkin puoliksi.

Kuvassa 12 on esitetty samassa paikassa kerätty, erittelemätön otos, joka on jaettu em. kriteerin perusteella pieniin ja isoihin autoihin. Vastaavat tunnusluvut on esitetty taulukossa 2.

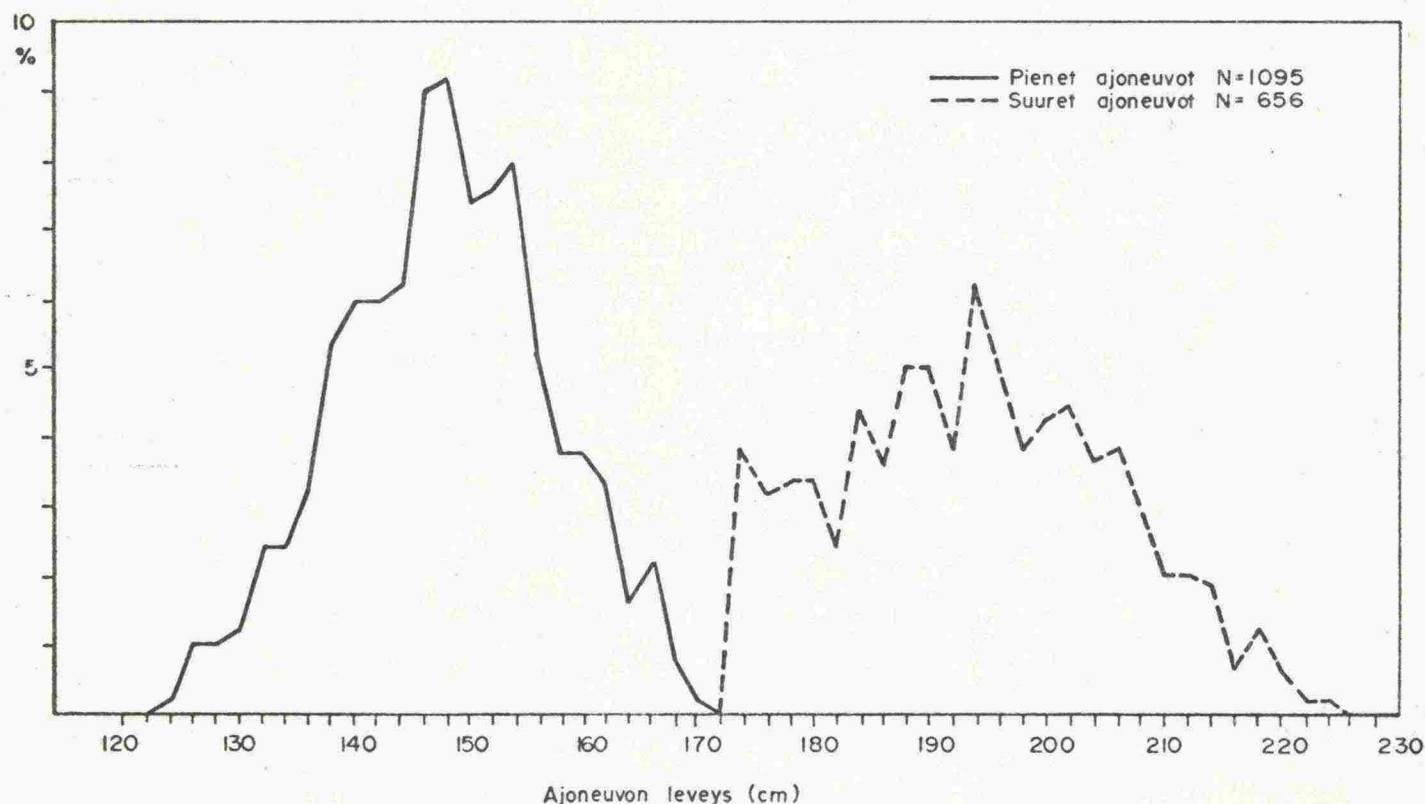
Taulukko 2. Pienten ja isojen autojen leveys (cm), mittauspiste 9.

	Keskiarvo	Hajonta	Lukumäärä
Pienet autot	148.4	9.3	1095
Isot autot	188.5	17.5	656

⁴ Kysymyksessä on otos tietyistä henkilöautomalleista eikä siten välttämättä maamme henkilöautokantaa edustava otos; tämä näkyy erityisesti hajonnassa.



Kuva 11. Eräiden henkilöautomallien sekä paketti- ja kuorma-autojen leveysjakautumat mittauspisteessä 9 kerätysssä otoksessa. Henkilöautoista ovat mukana Volkswagen ("Kupla", leveys 145 cm), Volvo 242-244 (156 cm), Renault 4L (138 cm), Lada (153 cm), Fiat 600 (127 cm), Saab 96 (139 cm), Saab 99 (155 cm) ja Mercedes Benz (163 cm).



Kuva 12. Pienten ja isojen autojen leveysjakautumat erittelemättömässä otoksessa mittauspisteessä 9.

Huomattakoon isojen autojen jakautuman kaksihuippuisuus: kasautuma runsaan 170 cm:n kohdalla muodostuu pakettiautoista, joita ko. mittauspisteessä on poikkeuksellisen runsaasti. Pakettiautojen osuus havainnoista aiheuttaa selvästikin virhettä mittauksiloksiin, kun luokitusperusteena käytetään yksinomaan ajoneuvon leveyttä (vrt. isojen autojen tunnusluvut taulukossa 2). Sen takia tutkimuksen kuluessa pakettiautot pyrittiin erottamaan aineistosta ilmoittamalla ne näppäimistöltä. Pimeällä tunnistaminen on kuitenkin usein vaikeaa, mutta toisaalta pakettiautojakin on silloin liikkeellä varsin vähän.

Taulukko 3. Eri ajoneuvotyyppien leveydet Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen (1976, s. 238) ja Lehtimäen (1971, s. 40-41) tutkimuksissa

(a) VTT (raideväli)				
	Vaihteluväli eri mittauspisteissä		Mittauspisteiden keskiarvo	
	Keskiarvo	Hajonta	Keskiarvo	Hajonta
Henkilöautot	130-142	9-13	136	11
Pakettiautot	145-154	15-18	150	17
Kuorma-autot	189-207	10-17	198	12
(b) Lehtimäki (etäisyys ulkosyrjästä ulkosyrjään)				
	Keskiarvo			
Henkilöautot	141.9	Perustuu 9 automerkin leveyteen ja niiden Suomessa oleviin lukumääriin		
Kuorma-autot	197.0	Perustuu 16 automerkin leveyteen ja niiden Suomessa oleviin lukumääriin		

Taulukossa 3 on esitetty VTT:n (1976) valokuvausmenetelmällä mitatut raideleveydet henkilö-, paketti- ja kuorma-autoille ja Lehtimäen (1971) joidenkin automerkkien leveydestä ja niiden esiintymismääristä laskemat leveydet. Tässä tutkimuksessa mitatut henkilöautojen ja pakettiautojen keskimääräiset leveydet (taulukko 1) vastaavat hyvin VTT:n tutkimuksessa saatuja keskiarvoja, kun otetaan huomioon raideleveyden ja renkaiden ulkosyrjien erotus (=yhden renkaan leveys). Lehtimäen laskema henkilöautojen le-

veys (ulkoreunasta ulkoreunaan) on sen sijaan huomattavasti pienempi kuin muissa tutkimuksissa, mikä aiheutunee siitä, että laskelmat perustuvat vuoden 1962 leveystietoihin, ja raideväli on todennäköisesti kasvanut sen jälkeen. VTT:n mittaamat kuorma-autojen leveydet ovat selvästi suurempia kuin tässä tutkimuksessa mitatut tai Lehtimäen laskemat. Selityksenä saattavat olla linja-autojen mukana olo, pienet havaintomäärät, erilaiset kuorma-autoliikenteen koostumukset tai poikkeavat luokittelukriteerit.

3. AJONEUVON SIJAINNIN RIIPPUVUUS ERI TEKIJÖISTÄ

Tässä tutkimuksessa suoritettiin mittauksia 17.8.-2.11.1977 välisenä aikana kaikkiaan 11 mittauspisteessä (kuva 13), joista osa tosin oli kokeilupisteitä ja niissä kerätyt havaintomäärät jäivät vähäisiksi. Taulukkoon 4 on kerätty tiedot mittauspisteistä.

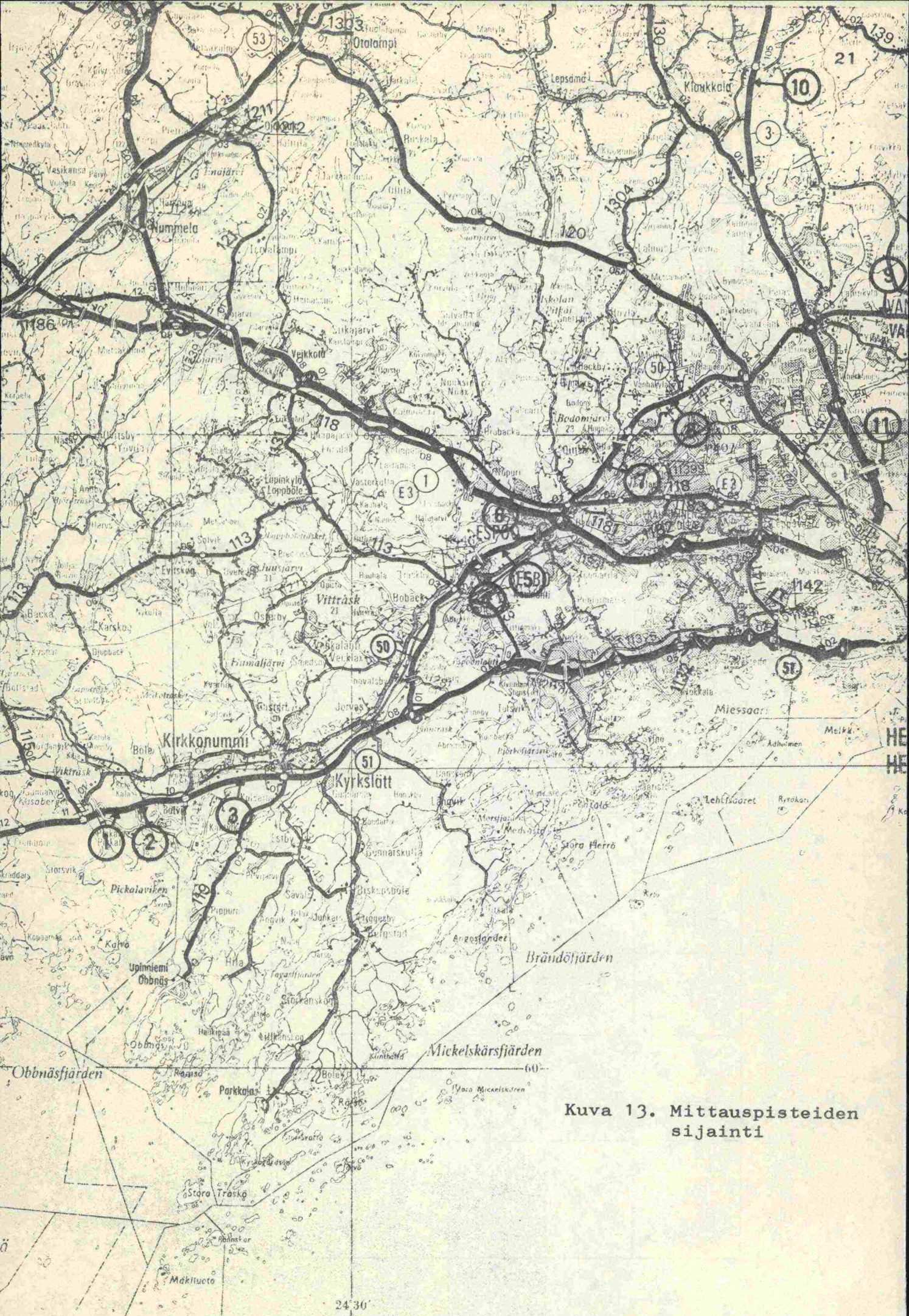
Seuraavassa käsitellään joitakin ajoneuvojen sijaintiin vaikuttavia tekijöitä (kaarteisuutta, valoisuutta, ajoneuvotyyppiä, nopeutta, aikaväliä) pääpiirteittäin; monet näistä tekijöistä tulevat esille vielä siinä yhteydessä, kun tutkimuksen neljännessä osassa tarkastellaan reunaviivan vaikutusta ajoneuvojen sijaintiin. Useimpia näistä tekijöistä on myös käsitelty aikaisemmin alan kirjallisuudessa. Pääosaltaan amerikkalaiset ja jo hieman ikääntyneet tutkimukset eivät kuitenkaan ole kaikilta osin suoraan verrattavissa Suomen 1970-luvun olosuhteisiin tiestössä, ajoneuvokannassa, nopeuksissa ym. tekijöissä esiintyvien erojen vuoksi.

3.1 Kaarre

Tutkimuksessa suoritettiin mittauksia kolmessa kaarteessa (mittauspisteet 1, 6 ja 9), mutta vain pisteessä 6 sekä sisä- että ulkokaarteessa. Kuvassa 14 on esitetty henkilöautojen ajolinjakautuma ko. mittauspisteessä pimeällä ja päivänvalossa.⁵

Aivan odotetusti tässäkin kaarteessa ajetaan ulkokaarteessa lähellä keskiviivaa ja sisäkaarteessa lähellä reunaviivaa. Huomionarvoista on kuitenkin, että ajolinjat poikkeavat kaitan keskikohdasta (ts. suositeltavasta ajolinjasta) yöllä enemmän ulkokaarteessa (keskiviivan suuntaan), mutta päivällä enemmän sisäkaarteessa (reunaviivan suuntaan - ja ylikin). Tätä

⁵ Tässä raportissa esitetyissä kuvissa on mukana ajoneuvojen kumpikin etupyörä (ulkoreunan sijainti), ts. ajoneuvojen "kokonaiskuormitus" tiellä. Ellei toisin mainita, mukana ovat vain ns. vapaat ajoneuvot, millä tässä tutkimuksessa tarkoitetaan sitä, että aikaväli edelläajavaan on suurempi kuin 5 s (ja vastaantulleeseen tai vastaantulevaan suurempi kuin 0.5 s).

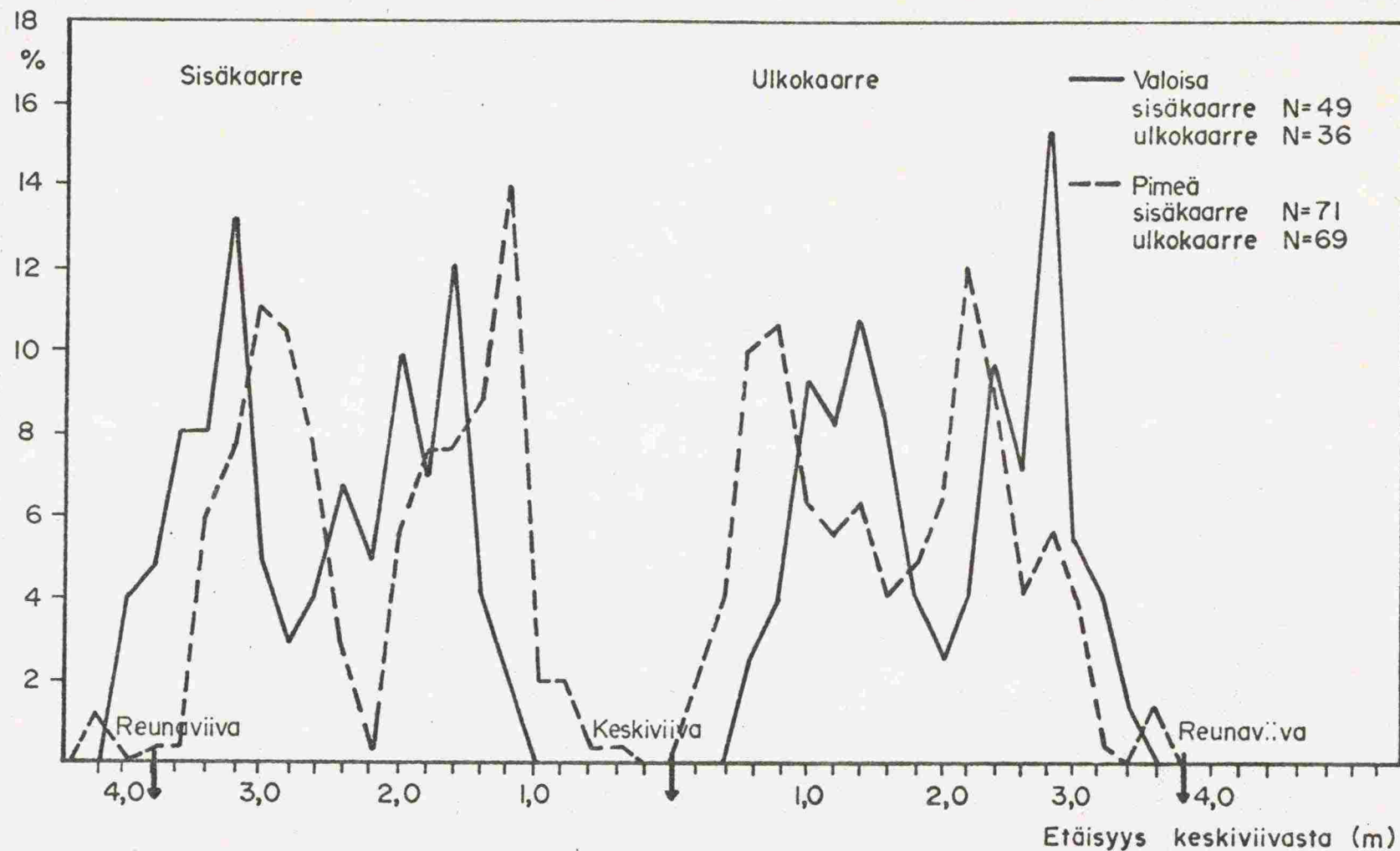


Kuva 13. Mittauspisteiden sijainti

Taulukko 4. Mittauspisteet

Mittaus- piste no	Tie no	Tie- osa no	Matka nolla- pisteestä m	Tien poikkileikkaus ^{x)} m	Näkämä		Kaarteisuus	Nopeus- rajoitus (km/h)
					itään m	länteen m		
1	kt 51	10	3781	11.5 / 9.7 / 7.5	219	398	kaarre	80
2	kt 51	10	3025	11.8 / 10.0 / 7.5	623	451	suora	100
3	kt 51	9	1040	11.4 / 10.0 / 7.4	376	345	suora	100
4	kt 50	2	1278	11.9 / 10.1 / 7.5	576	298	suora	80
5	kt 50	2	2789	11.7 / 10.1 / 7.5	597	310	suora	80
6	kt 50	2	3276	11.5 / 9.3 / 7.5	400	515	kaarre	80
7	kt 50	3		11.5 / 9.2 / 6.9			suora	80
8	kt 50	4		11.6 / 8.1 / 6.9			suora	80
9	kt 50	6		10.3 / 8.2 / 7.0			kaarre	60
10	vt 3	104		11.5 / 9.3 / 7.4			suora	100
11	Kehä I			7.6			suora	60

^{x)} Mitatut kokonaisleveydet: (a) päällystämättömine pientareineen, (b) päällystettyine pientareineen, (c) ajoradan leveys



Kuva 14. Henkilöautojen ajolinjakautuma pimeällä ja päivänvalossa mittauspisteessä 6.

eroa selittää kuitenkin ainakin osittain pimeällä vähäisempi vastaantuleva liikenne, jonka vaikutusta ei tutkimuksessa voitu poistaa.

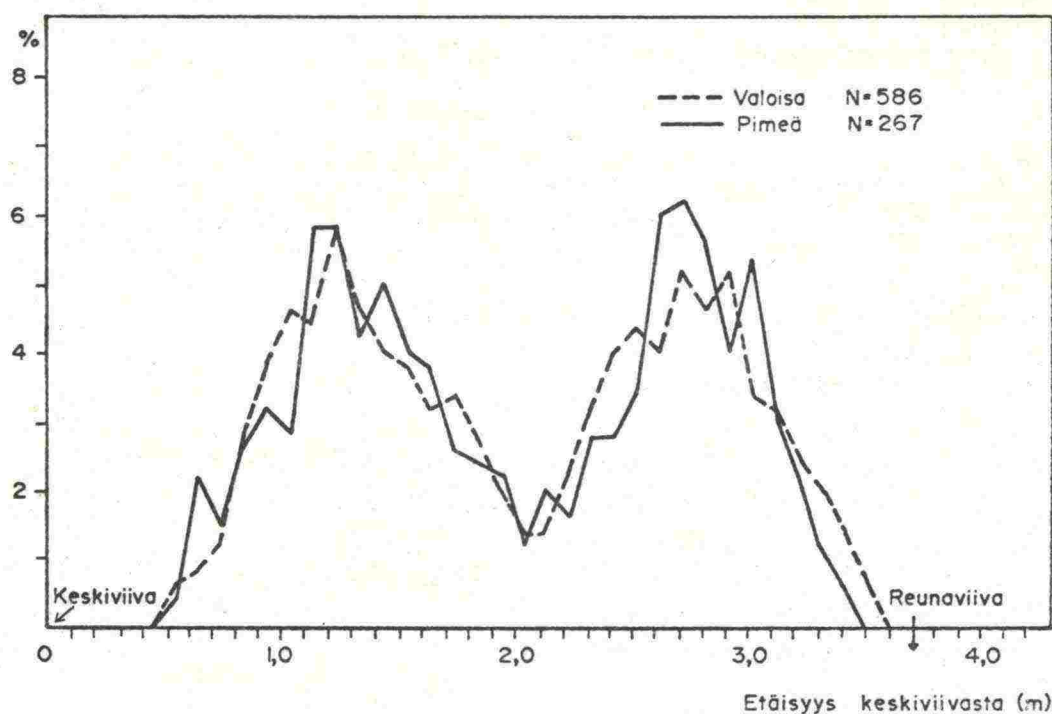
Tulos on samansuuntainen Thomasin ja Taylorin (1960) tutkimuksen kanssa; Knoflacherin ja Schrammelin (1975) tutkimuksessa päivän ja yön välinen ero oli sisäkaarteessa samansuuntainen ja tilastollisesti merkitsevä, mutta ulkokaarteessa erisuuntainen vaikkakaan ei merkitsevä. Edellisessä tutkimuksessa vastaantulevien vaikutus oli kontrolloitu (tosin tarkkoja rajoja ei annettu), jälkimmäisestä tämä ei käy ilmi.

Kaikien kaikkiaan kaarteisuus vaikuttaa ajolinjoihin varsin voimakkaasti ja voidaan olettaa, että vaikutus on hyvin resistentti: on ilmeisen vaikeaa vaikuttaa kuljettajien pyrkimykseen kaarretta oikaisemalla vähentää epämiellyttävää sivuuttaissuuntaista kiihtyvyyttä (keskipaikoisvoimaa).

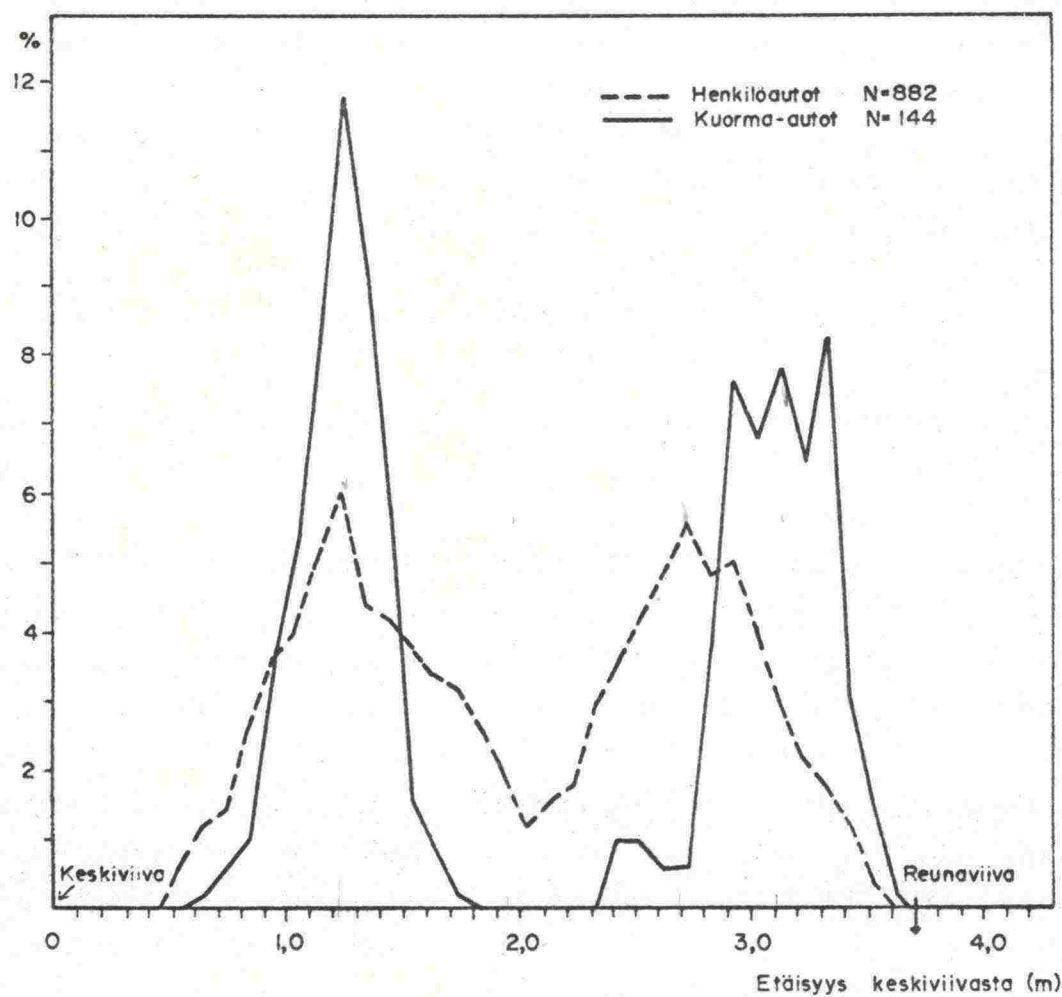
3.2 Valoisuus

Aikaisemmissa tutkimuksissa on yleisesti todettu, että yöllä - pimeässä - ajetaan lähempänä tien keskiviivaa kuin päivällä. Myös kuvasta 14 voidaan todeta, että mittauspisteessä 6 kerätyssä otoksessa ajettiin pimeällä sekä ulko- että sisäkaarteessa selvästi (30-40 cm) keskemmällä kuin päivällä. Samoin esim. mittauspisteessä 4, suorassa tien kohdassa, ajettiin pimeällä jonossa 13 cm ja vapaassa tilanteessa 24 cm keskemmällä kuin päiväsaikaan.

Kaikissa tien kohdissa tällaista eroa ei kuitenkaan esiinny. Kuvassa 15 on esitetty henkilöautojen ajolinjakautuma pimeällä ja päivänvalossa mittauspisteessä 10. (Jonossa ajavien ja muiden välillä ei todettu eroja, joten ne on yhdistetty.) Tässä tapauksessa jakautumat menevät varsin tarkasti päällekkäin, ts. eroja ei esiinny. Tämä johtunee siitä, että ko. mittauspisteessä on mittaussuuntaan ylämäki ja sulkuviiva, joka rajoittaa siirtymää keskemmälle. (Vastaantulevan liikenteen määrä aikayksikkö kohti oli jonkin verran pienempi pimeällä).



Kuva 15. Henkilöautojen ajolinjajakautuma pimeällä ja päivänvalossa mittauspisteessä 10.



Kuva 16. Henkilö- ja kuorma-autojen ajolinjajakautumat mittauspisteessä 10.

Yleisesti ottaen valoisuuden vaihtelu aiheuttaa ajolinjoihin aika tavalla vaihtelua pimeänaikaisen keskemällä ajamisen muodossa. Osa tästä aiheutunee pimeällä yleisesti vähäisemmästä vastaantulevan liikenteen vaikutuksesta, mutta myös pimeys sinänsä siirtää ajolinjoja keskemälle (vrt. Thomas & Taylor, 1960, s. 12). Siirtymää ei kuitenkaan näytä tapahtuvan kaikissa tien kohdissa.

3.3 Ajoneuvotyyppi

Henkilöautojen liikkumavapaus omalla ajokaistallaan on niiden kaapeuden ansiosta suurempi kuin kuorma-autojen, ja niinpä niiden ajolinjojen hajonta on suurempi ja kulutus näin ollen jakautuu laajemmalle alueelle. Mittauspisteessä 10, jossa sulkuviivat ja lyhyt näkemä rajoittavat liikkumisvapautta entisestään, tämä näky korostetusti (kuva 16). Korkein kuorma-autojen ajolinjakautuman huippu on peräti kaksi kertaa suurempi (12 % pyörien ulkoreunoista 10 cm:n levyisellä alalla) kuin vastaava henkilöautojen huippu (6 %). Huomattakoon myös, että tässä mittauspisteessä vasemman - kuljettajan puoleisen - pyörän kohdalla hajonta on pienempi, ts. kuorma-autojen vasen pyörä kulkee samaa uraa ja autojen leveyseroista johtuva vaihtelu näkyy oikean pyörän jakautuman suurempana hajontana. Tämä näkyy myös yli mittauspisteiden, vaikkakaan ei yhtä selvänä (ks. taulukko 5).

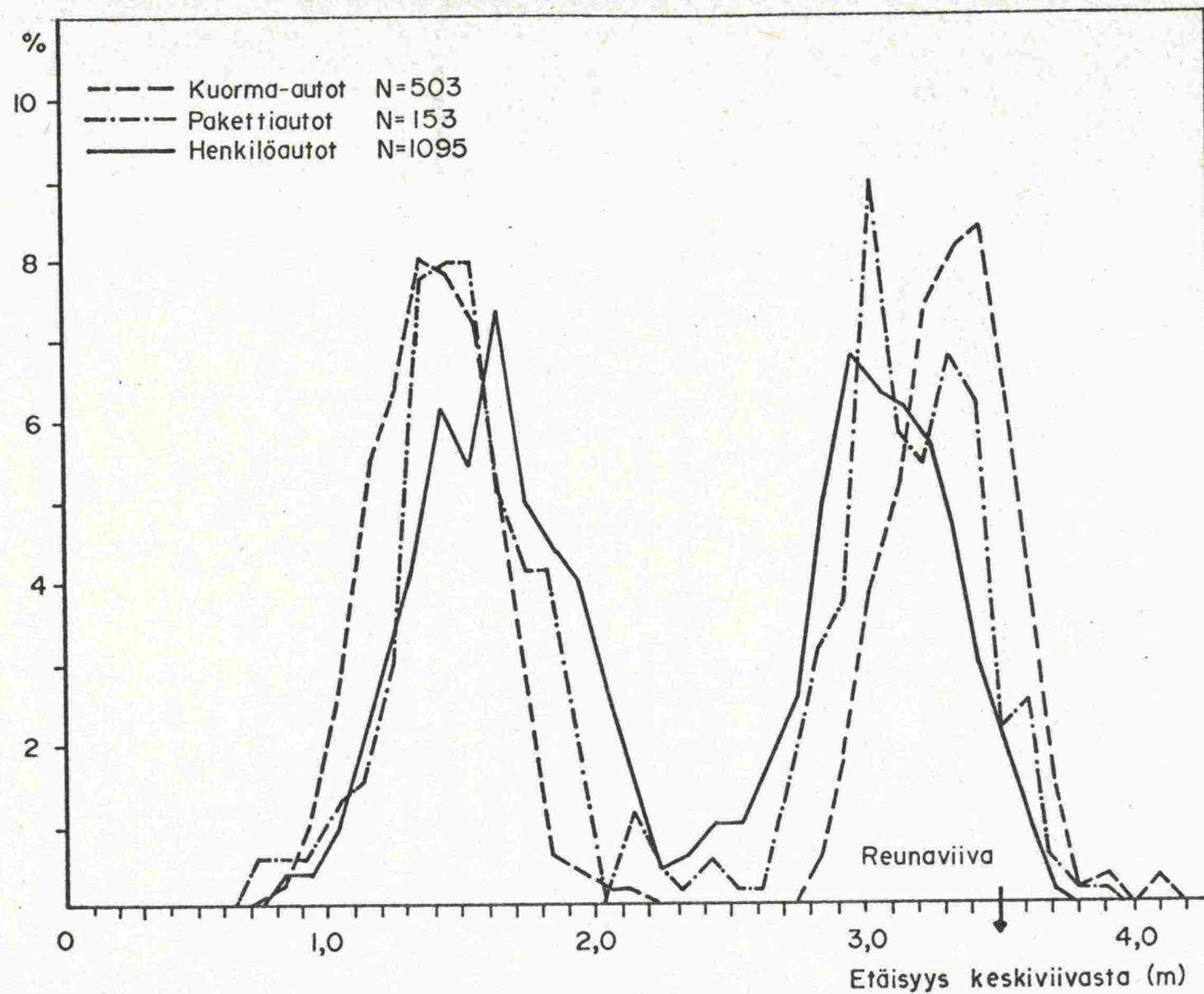
Taulukossa 5 on esitetty vasemman ja oikean pyörän jakautumien huippuarvot ja maksimihuippuarvot (20 cm:n luokkaväli) henkilöautoille ja kuorma-autoille kaikkiaan 15 mittauskerran keskiarvoina (mukana kaikki mittauskerrat, joissa kuorma-autojen lukumäärä vähintään 25). Kuorma-autojen ajolinjakautumien maksimihuiput ovat taulukon mukaan 1.45 kertaa suuremmat kuin henkilöautojen. Tämä on jonkin verran pienempi suhde kuin VTT:n tutkimuksessa (1976, s. 237) saatu tulos 1.63; sitä vastaa kuitenkin vasemman pyörän huippuarvojen suhde 1.68.

Kun nastoitettun kuorma-autonrenkaan kulutus on eräiden arvioiden mukaan jopa 2-4ertainen vastaavaan henkilöauton renkaaseen verrattuna (TVH, 1978), kuorma-autojen ajolinjojen pienempi hajonta lisää näin ollen kuorma-autojen kulutuksen henkilöautoihin verrattuna 3-6 kertaiseksi. (On kuitenkin muistettava, että vain pieni osa kuorma-autoista on varustettu nastoilla).

Taulukko 5. Henkilöautojen ja kuorma-autojen ajolinjajakautumien huippuarvot: 15 mittauskerran keskiarvot ja vaihteluväli (%)

	Vasen pyörä	Oikea pyörä	Maksimiarvo
Henkilöautot	10.67(8.38-12.60)	10.70(7.83-12.92)	12.60(7.83-12.92)
Kuorma-autot	17.88(13.58-25.0)	15.06(11.43-20.0)	18.27(11.43-25.0)
KA/HA suhde	1.68	1.41	1.45

Kuvasta 16 voidaan edelleen todeta, että kuorma-autot ajavat jonkin verran reunemmassa kuin henkilöautot; autojen keskikoh-
tajakautumasta laskettu ero on 14.3 cm ($p < .001$, Mann-Whitney $U = 8087.5$, $z = 5.28$). Kuvassa 17 on esitetty henkilö-, paket-
ti- ja kuorma-autojen ajolinjajakautumat mittauspisteessä 9
(sisäkaarre). Kuorma-autot ajavat tässä poikkileikkauksessa
1.8 cm reunemmassa kuin pakettiautot (autojen keskikohdasta mi-
tattuna) ja 4.6 cm reunemmassa kuin henkilöautot; erot ovat
tässäkin tilastollisesti merkitseviä.



Kuva 17. Henkilö-, paketti- ja kuorma-autojen ajolinjajakautumat mittauspisteessä 9.

3.4 Nopeus

Kuvassa 18 on esitetty henkilöautojen keskikohdan etäisyys tien keskiviivasta nopeuden funktiona mittauspisteessä 10 - suorassa tienkohdassa 100 km:n nopeusrajoitusalueella. Mukana ovat vain ne autot, joiden aikaväli edelläajavaan on suurempi kuin 5 sekuntia (eikä vastaantulijaa ole kohdalla). Nopeuden vaikutus on selvä ja tilastollisesti merkitsevä ($F_{3,223} = 9.44$, $p < .01$): Mitä suurempi on nopeus, sitä lähempänä keskiviivaa ajetaan. Tulos on yhdenmukainen Lehtimäen (1971, s. 24) ja Dartin (1966; nelikaistainen tie) tulosten kanssa.

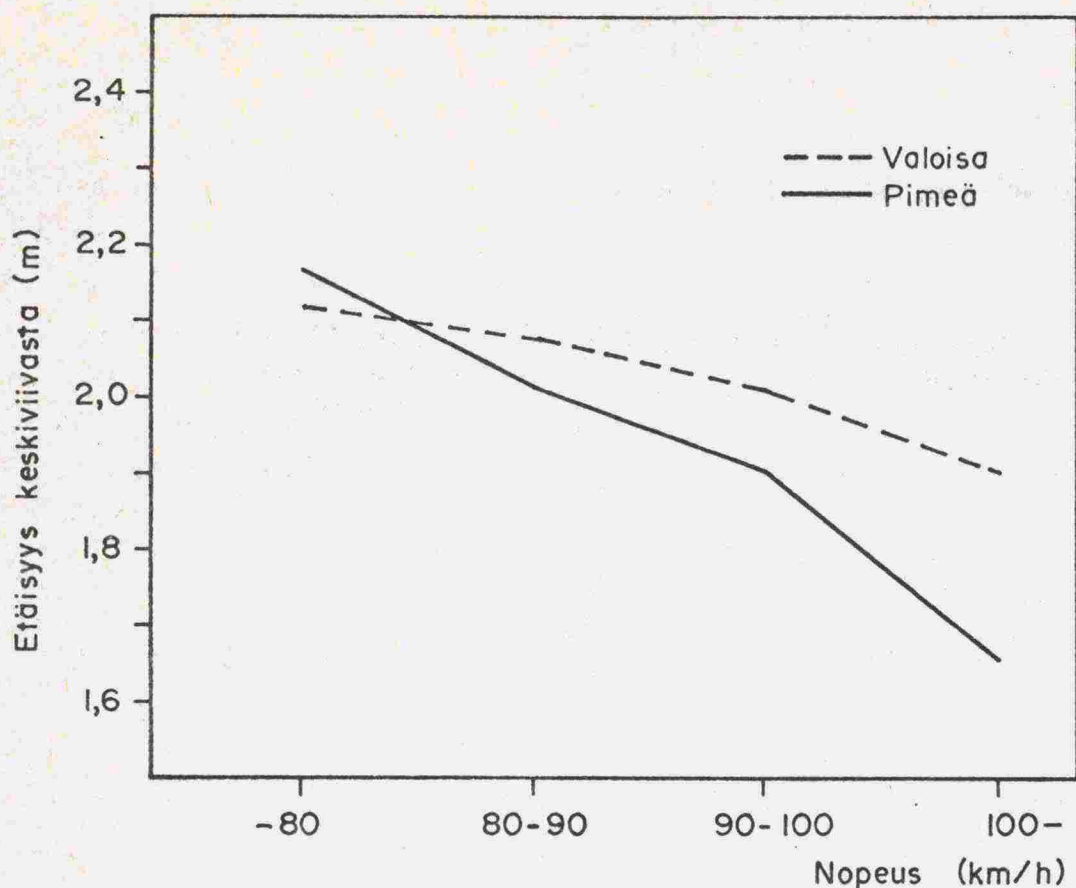
Mielenkiintoista tässä on vaihtelun suuruus ja se, että pimeällä nopeuden aiheuttama vaihtelu näyttää olevan suurempi kuin päivänvalossa (valoisuus x nopeusinteraktio ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä). Tämän tuloksen mukaan nopeat henkilöautot ajavat päivällä keskimäärin runsaat 20 cm ja pimeällä peräti 50 cm lähempänä tien keskiviivaa kuin hitaasti ajavat.⁶

3.5 Aikaväli

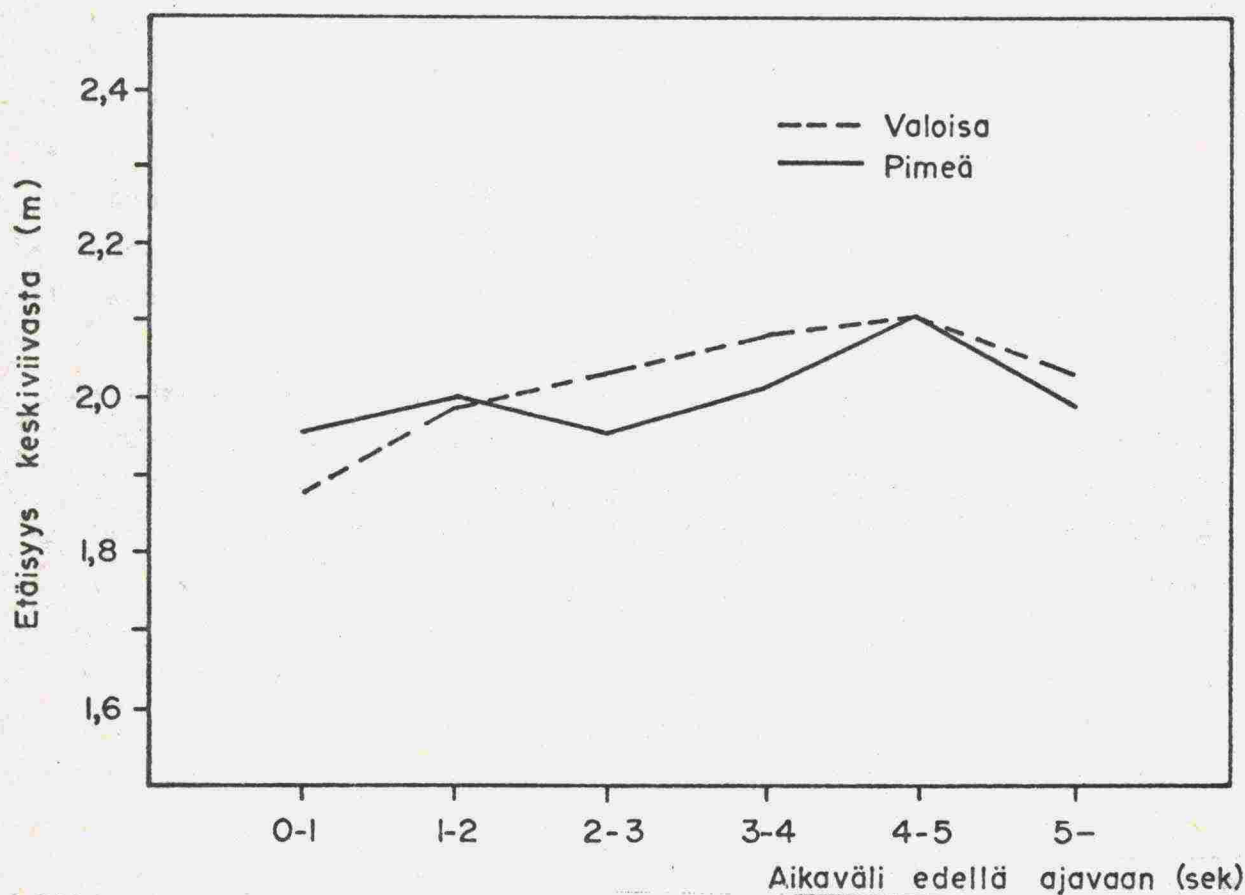
Kuvassa 19 on esitetty henkilöautojen keskikohdan etäisyys tien keskiviivasta aikavälin funktiona mittauspisteessä 10. Päivänvalossa hyvin lyhyillä aikaväleillä (< 1 s) ajavat ovat selvästi lähimpänä keskiviivaa - ilmeisissä "kyttäysasemissa" ohitusta silmälläpitäen (vrt. Summala, 1974). Aikavälin kasvaessa sijainti siirtyy lähemmäksi reunaviivaa, kunnes yli viiden sekunnin aikaväleillä (ts. ei jonossa ajavat) jälleen keskemälle: jonossa, mutta riittävän suurella etäisyydellä edelläkulkevaan ajavat ovat kaikkein lähimpänä reunaviivaa; keskiarvojen suurin ero on n. 20 cm. Päivänvalossa aikavälin vaikutus on tilastollisesti merkitsevä ($F_{5,580} = 3.542$, $p < .01$), mutta yöllä ei, joskin erot näyttävät olevan osittain samansuuntaisia kuin päivällä (valoisuus x aikaväli-interaktio ei ole merkitsevä).

⁶

Aineistosta on poistettu mahdollisten ohittajien aiheuttama virhe, mutta vastaantulijat saattavat vaikuttaa pimeään ja päivänvalotilanteen välisiin eroihin.



Kuva 18. Henkilöautojen keskikohdan etäisyys tien keskiviivasta nopeuden funktiona pimeällä ja päivänvalossa (mittauspiste 10).



Kuva 19. Henkilöautojen keskikohdan etäisyys tien keskiviivasta aikavälin funktiona pimeällä ja päivänvalossa (mittauspiste 10).

4. REUNAVIIVAN VAIKUTUS AJONEUVOJEN SIJAINTIIN

Alunperin oli tarkoitus tutkia reunaviivan vaikutusta ajoneuvojen sijaintiin tieosilla, jotka päällystettäisiin ja joille asteittain maalattaisiin keskiviiva ja reunaviivat. Koska päällystystyö kuitenkin valituilla tieosilla jouduttiin aloittamaan aikaisemmin ei suunnitelmaa ehditty toteuttaa. Sen sijaan Helsinkiä ympäröivältä tieverkolta valittiin viisi tien kohtaa, joissa reunaviiva oli kokonaan kulunut, ja tutkittiin ennen-jälkeen-menetelmällä, mikä vaikutus reunaviivan maalaamisella on ajoneuvojen sijaintiin. Kaksi pisteistä oli kantatie 51:llä (pisteet 2 ja 3), molemmat suorassa tien kohdassa. Kolme muuta pistettä oli kantatie 50:llä (Kehä III; pisteet 4-6). Mittauspiste 4 oli suorassa tien kohdassa, samoin 5, mutta mäessä, ja piste 6 oli kaarteessa (ks. taulukko 4 ja kuva 13). Suorien tienkohtien mittauspisteiden (2-5) poikkileikkaus oli 10 cm:n tarkkuudella 10/7.5; päällystetyn pientareen leveys oli 1,2 m ja päällystämättömän 0.7-0.8 m. Kaarteessa sijaitsevan mittauspisteen poikkileikkaus oli 9.3/7.5.

On huomattava, että tämä on siinä mielessä vinoutunut otos teittemme poikkileikkauksista, että näissä pisteissä reunaviiva oli kulunut enemmän kuin muualla keskimäärin. Oli siis olemassa tekijöitä, jotka noissa pisteissä siirsivät ajolinjoja reuemmaksi tai lisäsivät ajolinjojen hajontaa niin, että jakautuma ulottui selvästi reunaviivan yli. Toisaalta tällä järjestelyllä saavutettiin se etu, että voitiin tutkia reunaviivan kulumisen vaikutusta vanhalla päällysteellä, joka on huomattavasti vaa-leampi ja jossa ajoratamaalausten ja tien pinnan kontrasti on huomattavasti pienempi kuin uudella päällysteellä.

Ennen-jälkeen -tyyppiset tutkimukset ovat aina ongelmallisia siksi, ettei voida varmasti tietää, ovatko tutkittavan muuttujan lisäksi jotkut muut tekijät vaikuttaneet tuloksiin. Kontrolloidun tutkimuksen suorittaminen reunaviivan vaikutuksesta on kuitenkin jokseenkin hankalaa. Joidenkin tekijöiden kontrollointiin antaisi mahdollisuuden se, että maalattaisiin ensin toinen ja sitten toinen reunaviiva samassa poikkileikkauksessa ja mitattaisiin joka vaiheessa ajolinjakautuma kumpaankin suuntaan. On kuitenkin huomattava, että eri suunnat samassakin poikkileikkauksessa poikkeavat näkemä- ym. olosuhteiltaan ja

toiseksi liikennemäärät poikkeavat eri suunnissa. (Eri poikkeileikkausten käyttämisessä kontrollina on tätäkin suurempia vaikeuksia.) Tässä tutkimuksessa oli mukana tien poikkileikkauksia, joissa ennen-tilanteessa oli reunaviiva vain tien toisella puolella, mutta em. osittaisenkin kontrollointimahdollisuuden käyttö kilpistyi siihen, että samanaikaisia mittauksia kummassakin suunnassa ei voitu tehdä.

Kontrolloidun tutkimuksen mahdollisuuden puuttuessa on yritettävä vakioida ennen- ja jälkeen-tilanteissa mahdollisimman monta niistä tekijöistä, jotka voivat vaikuttaa tuloksiin. Sää vakioitiin tässä tutkimuksessa siten, että mittauksia suoritettiin vain kuivalla kelillä. Valoisan ja pimeän havainnot erotettiin toisistaan, samoin kevyet (kapeat) ja raskaat (leveät) autot (seuraavassa: henkilö- ja kuorma-autot). Ongelman muodosti liikennemäärä, erityisesti vastaan-tulevan liikenteen määrä. Tämän vakioimiseksi olisi mittaukset ennen- ja jälkeen-tilanteissa tehtävä samoina kellonaikoina samoina viikonpäivinä (tai ainakin viikonloppuruuhkia välttäten); kausivaihtelun huomioonottaminen on jo hankalampaa, jos ennen- ja jälkeen-mittausten välillä on vähänkin enemmän eroa.

Toinen mahdollisuus on vakioida kunkin mitattavan ajoneuvon sijainti liikennevirrassa, ts. asema edelläajavaan, perässä tulevaan, vastaan-tulevaan ja vastaan-tulleeseen - sekä nopeus. Ts. voidaan tutkia esim. niiden ajoneuvojen sijaintia ajoradalla, jotka eivät ole jo-nossa ja joista vastaan-tuleva ja vastaan-tullut ovat vähintään tietyn etäisyyden (aikavälin) päässä. Tällöinkin on vielä otettava huomioon mahdollisuus, että kuljettajan aikaisemmat kokemukset (tien ja sen liikenteen tuntemus aikaisemmilta ajokerroilta ja välittömät, edeltävien minuuttien kokemukset mm. vastaan-tulijoiden määrästä) vaikuttavat hänen ajokäyttäytymiseensä.

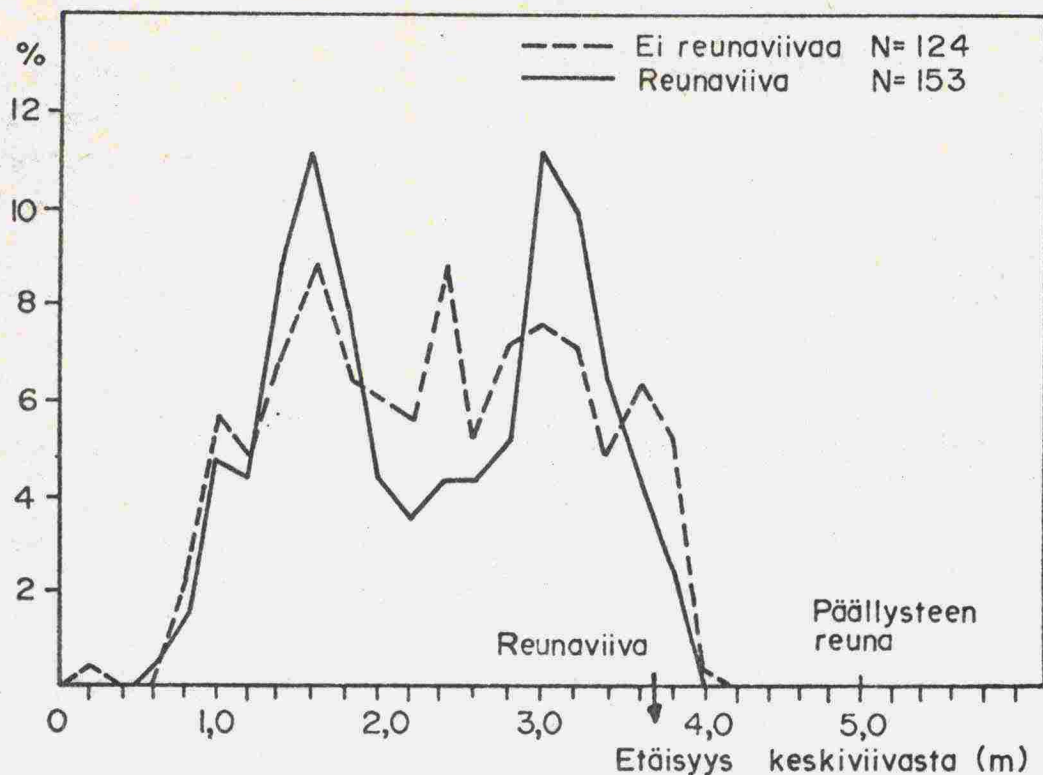
Tämän tutkimuksen kahdessa reunaviivapisteessä (5 ja 6) ei ennen- ja jälkeen-aineistoja onnistuttu keräämään toisiaan vastaavina aikoina, ja kummassakin vastaan-tuleva liikennemäärä on jälkeen-tilanteessa suurempi. Samoin on päivänvalossa mittauspisteessä 3, jossa jälkeen-tilanteessa havaintomäärä on vasta-auriongon takia pienempi ja sijoittuu pääasiallisesti ruuhka-aikaan. Tässä tutkimuksessa mitattiin aikaväli edelläajavaan ja vastaan-tulleeseen, mutta mittauslaitteistossa tällöin olleiden puutteellisuuden

johdosta ei sen sijaan aikaväliä vastaantulevaan voitu saada kuin pienelle osalle havaintoja (ks. kuva 10), eikä vastaantulevan liikenteen vaikutusta näin ollen saatu riittävästi mitatuksi. (Tämä esti myös regressiomallien hyväksikäytön, jos kohta joidenkin riippuvuuksien luonteestakaan ei ole vielä riittävästi tietoa).

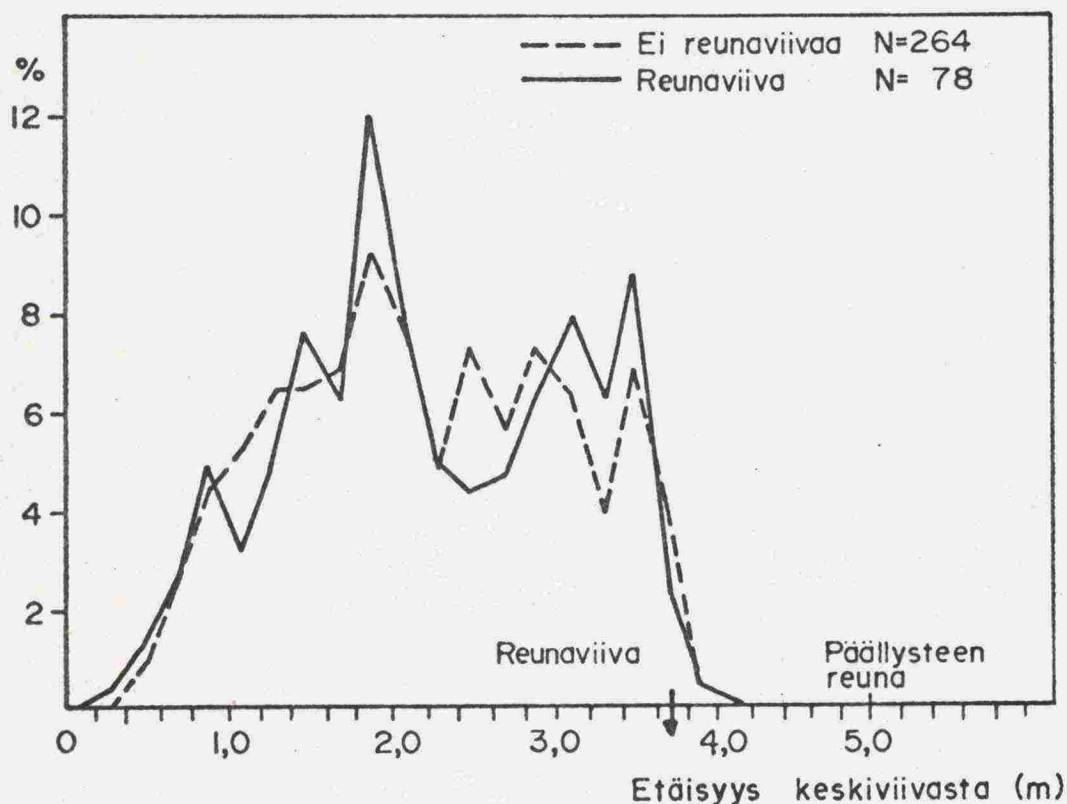
4.1 Ajoneuvojen sijainti ennen reunaviivojen maalaamista ja sen jälkeen

Kuvissa 20 ja 21 on esitetty vapaassa tilanteessa olevien henkilöautojen ajolinjakautumat ennen reunaviivan maalaamista (katkoviiva) ja sen maalaamisen jälkeen (yhtenäinen viiva) kantatien 51 mittauspisteissä. Kuvista voidaan ensiksi todeta, että näissä (suhteellisen samankaltaisissa) poikkileikkauksissa ajolinjojen hajonta ennen reunaviivojen maalaamista oli huomattavan suuri, niin ettei selviä huippuja ole edes havaittavissa (toisin sanoen lähes ihannetilanne päällysteen kulumista ajatellen). Toisaalta jakautumat menevät erittäin selvästi reunaviivan päälle.

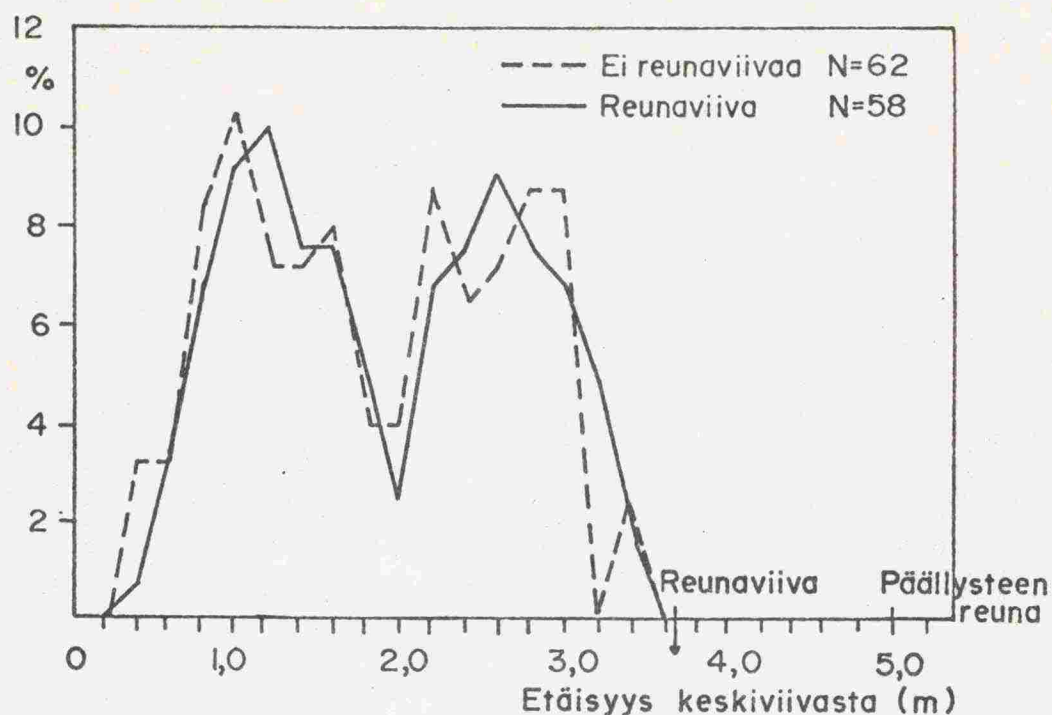
Ennen- ja jälkeen-tilanteiden välillä näyttää olevan kummassakin pisteessä samansuuntaisia eroja: jakautuma tosin on pysynyt kutakuinkin paikallaan (siirtymää puoleen tai toiseen ei esiinny), mutta reunaviivatilanteessa on havaittavissa huippujen muodostumista reunaviivattomaan verrattuna. Pisteessä 3 (kuva 21) mahdollinen muutos lienee ainakin osittain jälkeentilanteen suuremman vastaantulijoiden määrän aiheuttama. Muutokset eivät kylläkään ole kummassakaan pisteessä tilastollisesti merkitseviä (testattu ajoneuvojen keskikohtajakautumista Kolmogorov-Smirnovin kahden otoksen testillä; ks. Siegel, 1956, s. 127-136).



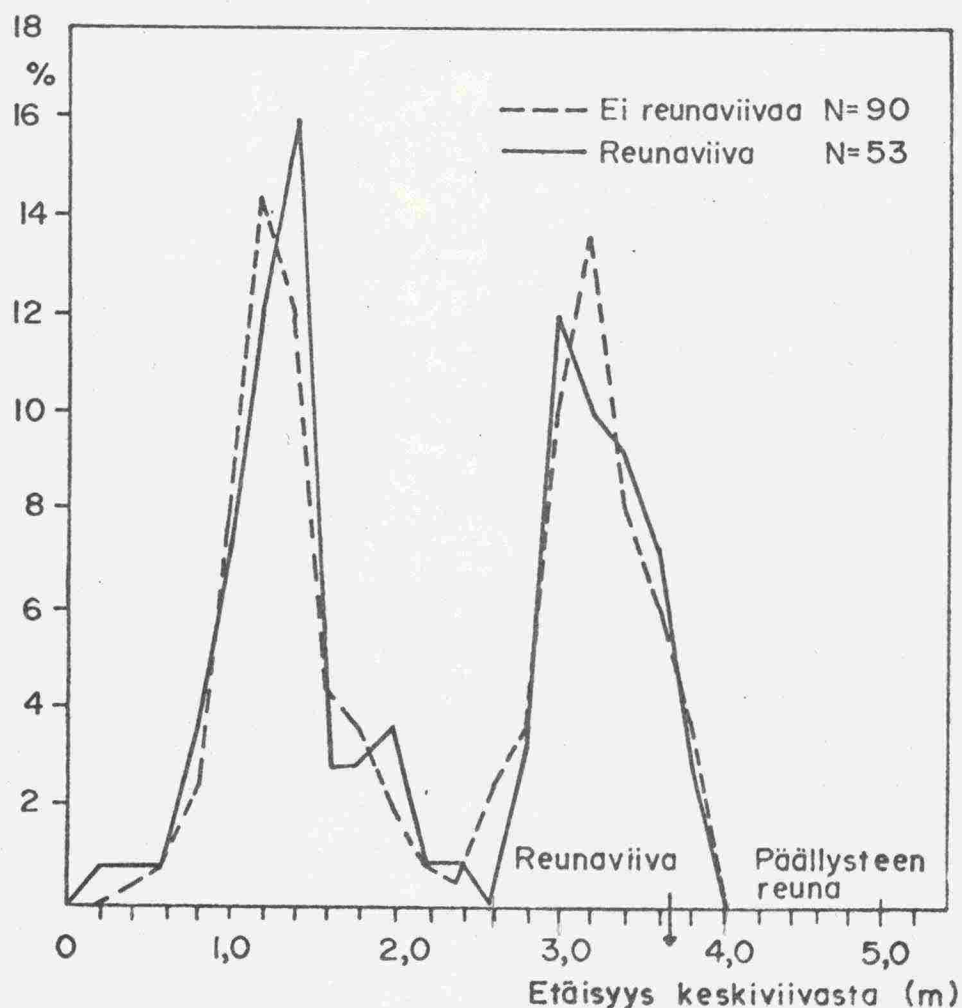
Kuva 20. Vapaassa tilanteessa ajavien henkilöautojen ajolinjakautuma päivänvalossa ennen reunaviivan maalaamista ja sen jälkeen mittauspisteessä 2.



Kuva 21. Vapaassa tilanteessa ajavien henkilöautojen ajolinjakautuma päivänvalossa ennen reunaviivan maalaamista ja sen jälkeen mittauspisteessä 3.



Kuva 22. Vapaassa tilanteessa ajavien henkilöautojen ajolinjakautuma pimeällä ennen reunaviivan maalaamista ja sen jälkeen mittauspisteessä 3.



Kuva 23. Vapaassa tilanteessa ajavien kuorma-autojen ajolinjakautuma ennen reunaviivan maalaamista ja sen jälkeen mittauspisteessä 3.

Kuvassa 22 on esitetty henkilöautojen ajolinjakautuma pimeällä pisteessä 3 ennen ja jälkeen reunaviivan maalaamisen. Päivänvalotilanteeseen verrattuna ajolinjojen hajonta on pimeällä huomattavasti pienempi ja selvät huiput nähtävissä jo ennen reunaviivan maalaamista. Reunaviiva ei ole vaikuttanut huippujen suuruuteen, mutta on ehkä saattanut siirtää ajolinjoja hiiven reunaviivan suuntaan (autojen keskikohdasta laskettu keskiarvojen ero on 11.5 cm), joskaan ero ei ole tilastollisesti merkitsevä.

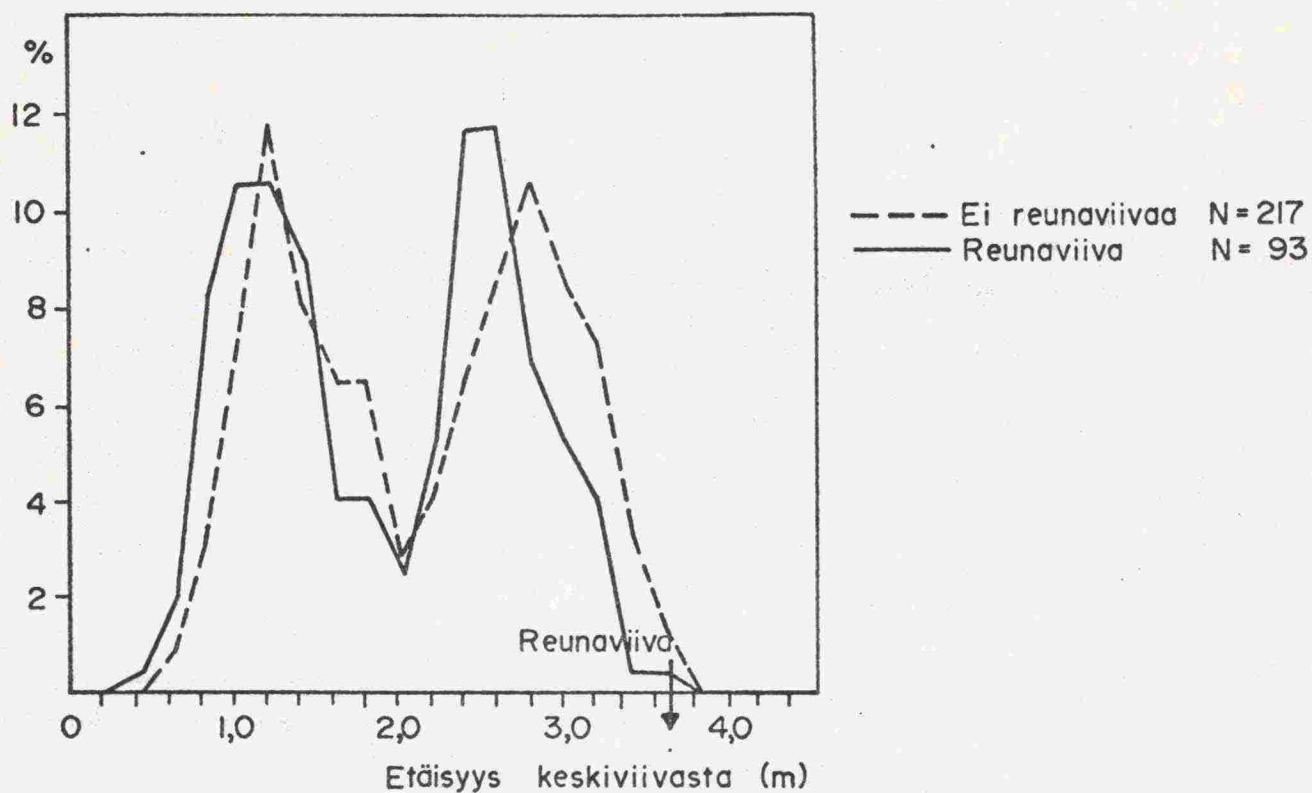
Kuvassa 23 on esitetty kuorma-autojen ajolinjakautuma ennen reunaviivan maalaamista ja sen jälkeen.⁷ Viivan maalaamisen jälkeen autojen keskimääräinen sijainti oli 4.5 cm lähempänä reunaviivaa, mutta ero ei ole tilastollisesti merkitsevä.

Kuvissa 24 ja 25 on esitetty henkilöautojen ajolinjakautumat mittauspisteessä 4 ennen reunaviivan maalaamista ja sen jälkeen jonossa ajaville ja vapaille ajoneuvoille erikseen - päivänvalossa.⁸ Reunaviivan maalaamisen jälkeen sijaitsivat ajolinjat kummassakin tapauksessa keskemmällä (keskimäärin 22.2 cm ja 9.6 cm, autojen keskikohdasta mitattuna).⁹

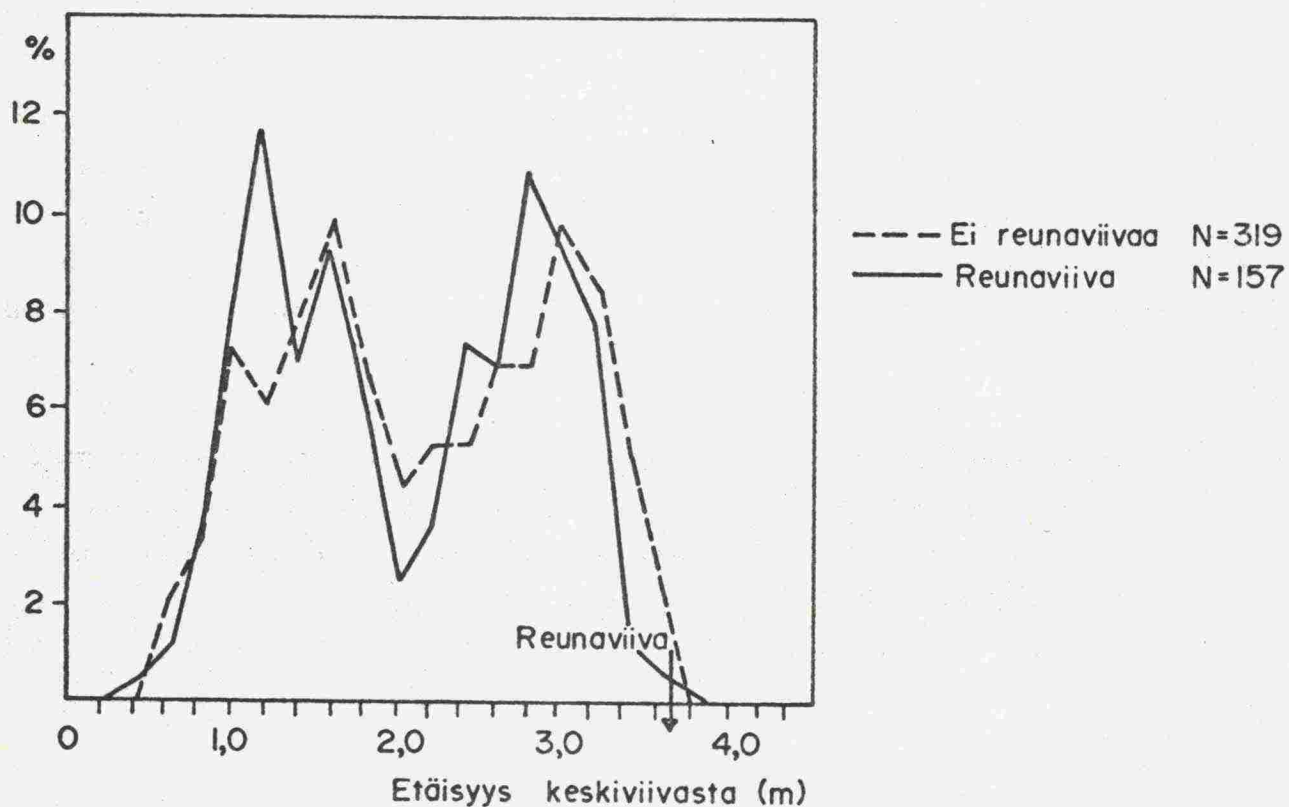
⁷ Aineisto on osittain puutteellista - ts. kaikissa mittauspaikoissa ei saatu riittävästi havaintoja kaikista tilanteista ajoneuvotyypeistä. Liikennemäärät jo sinänsä ovat pieniä varsinkin pimeällä ja kun aineistosta joudutaan vielä poistamaan esim. jonossa ajavia, havaintomäärät pienenevät entisestään. Esim. kuorma-autoista on jokseenkin vaikea saada riittävän suuria otoksia - tai se vaatii liian suuria kustannuksia.

⁸ Mittauspisteen 4 analyysissä on kysymys usean mittauspäivän yhdistetyistä havainnoista, koska riittävän täydellistä aineistoa ei yhtenä ennen- ja jälkeenä päivänä saatu; vastantulevan liikenteen määrät vastaavat kuitenkin toisiaan ennen- ja jälkeen-tilanteissa. Tilastollisten testien suhteen tämä merkitsee sitä, että aineistossa on periaatteessa riippuvia tapauksia, mutta käytännössä tämän aiheuttama virhe lienee olematon.

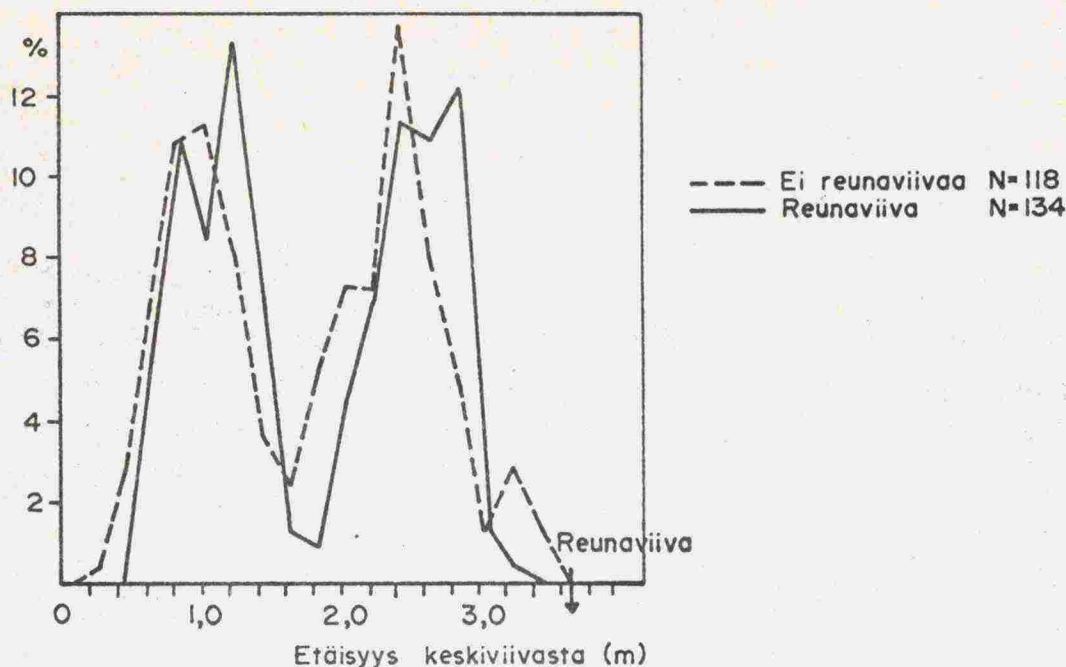
⁹ Vastaavat Kolmogorov-Smirnov -arvot: $D_{217,93} = .237$, $p < .01$ ja $D_{319,157} = .134$, $p < .05$.



Kuva 24. Jonossa ajavien henkilöautojen ajolinjakautuma päivänvalossa ennen reunaviivan maalaamista ja sen jälkeen mittauspisteessä 4.



Kuva 25. Vapaassa tilanteessa ajavien henkilöautojen ajolinjakautuma päivänvalossa ennen reunaviivan maalaamista ja sen jälkeen mittauspisteessä 4.

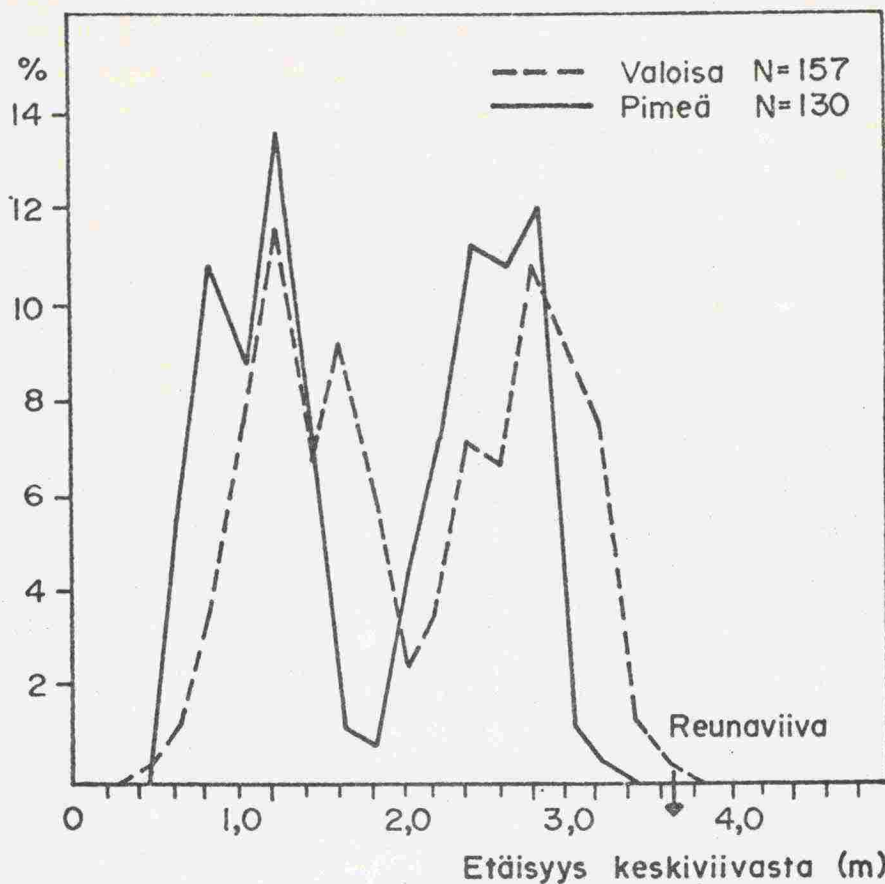


Kuva 26. Vapaassa tilanteessa ajavien henkilöautojen ajolinjajakautuma pimeällä ennen reunaviivan maalamista ja sen jälkeen mittauspisteessä 4.

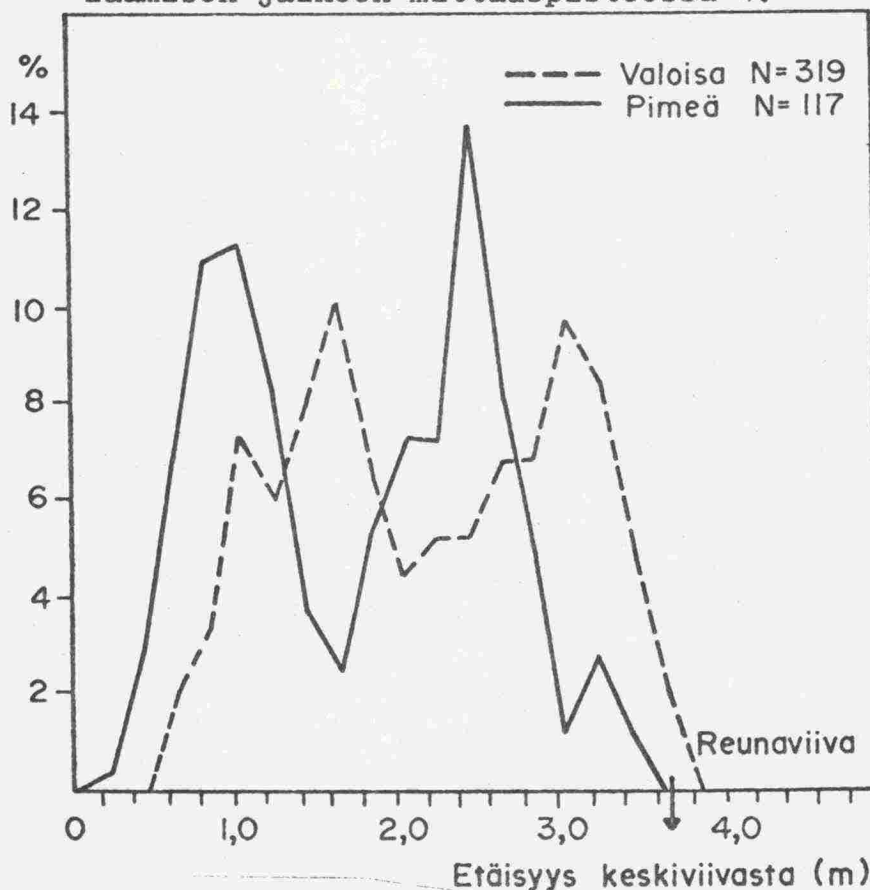
Kuvassa 26 on esitetty vapaiden henkilöautojen ajolinjajakautumat ennen reunaviivojen maalaamista ja sen jälkeen - pimeällä. Toisin kuin päivänvalossa, pimeällä ajolinjat sijaitsivat reunaviivan maalaamisen jälkeen reunemmassa.¹⁰

Reunaviivan kaksisuuntaisella vaikutuksella eri valaistusolosuhteissa on varsin mielenkiintoisia seuraamuksia. Kuvissa 27 ja 28 on esitetty valoisuuden vaihtelun (päivänvalo-pimeä) vaikutus silloin, kun tiellä on reunaviiva ja silloin, kun sillä ei ole reunaviivaa (edelleen mittauspiste 4, vapaat ajoneuvot). Pimeällä ajetaan lähempänä tien keskiviivaa kuin päivänvalossa sekä silloin, kun tiellä on reunaviiva, että silloin, kun reunaviivaa ei ole. Reunaviivan puuttuessa ero kuitenkin on huomattavasti suurempi (50.7 ja 23.8 cm). Vuorokauden aiheuttama vaihtelu, on toisin sanoen selvästi suurempi ja päällysteen kulutus näin ollen taseisempaa silloin, kun reunaviivaa ei ole.

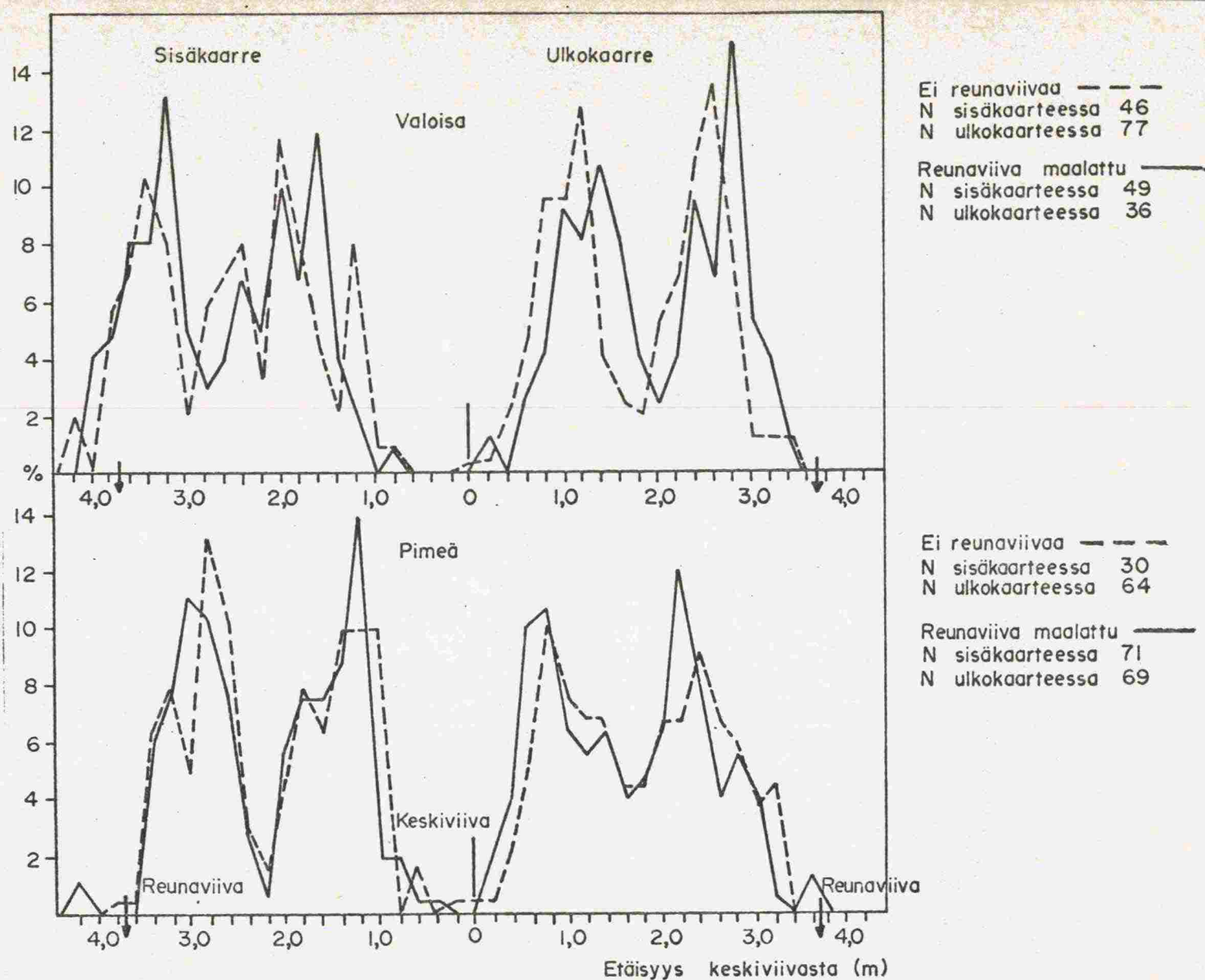
¹⁰ Siirtymää testattiin Mann-Whitneyn U-testillä (herkempi keskiarvojen eroille kuin Kolmogorov-Smirnov), ja se oli yksisuuntaisessa testauksessa 1 %:n riskitasolla merkitsevä.



Kuva 27. Vapaassa tilanteessa ajavien henkilöautojen ajolinjakautuma päivänvalossa ja pimeällä reunaviivan maalaamisen jälkeen mittauspisteessä 4.



Kuva 28. Vapaassa tilanteessa ajavien henkilöautojen ajolinjakautuma päivänvalossa ja pimeällä ennen reunaviivan maalaamista mittauspisteessä 4.



Kuva 29. Vapaassa tilanteessa ajavien henkilöautojen ajolinjajakautuma ennen ja jälkeen reunaviivojen maalaamisen mittauspisteessä 6.

Edellä olevat reunaviivatarkastelut ovat koskeneet suoria tienkohtia. Esimerkkinä kaarteessa tehdyistä mittauksista esitetään kuvassa 29 henkilöautojen ajolinjakautumat ennen reunaviivon maalaamista ja sen jälkeen mittauspisteessä 6. Yleisesti ottaen näyttää siltä, että sekä sisä- että ulkokaarteessa oikeastaan päivänvalossa enemmän silloin, kun reunaviivat puuttuvat, mutta pimeällä silloin, kun reunaviivat ovat maalatut. Siirtymät ovat tosin vain päivänvalotilanteessa tilastollisesti merkitseviä, ulkokaarteessa 18 cm reunemmaksi ($D_{77,36} = .275$, $p < .05$) ja sisäkaarteessa 4 cm reunemmaksi ($D_{46,49} = .287$, $p < .05$). Juuri päivänvalotilanteessa vastaantulevan liikenteen määrä oli kuitenkin reunaviivan maalaamisen jälkeen suurempi, ja se selittää ainakin osittain siirtymää reunaan päin. Pimeällä ei eroja liikennemäärissä ollut.

Taulukossa 6 on esitetty ajolinjakautumien huippuarvot ennen ja jälkeen reunaviivan maalaamisen kaikissa 5 mittauspisteessä, joissa havaintoja saatiin reunaviivattomassa ja -viivallisessa tilanteessa. Kahdessa on lisäksi huippuarvot kummankin suunnan liikenteelle erikseen. Mukana ovat kaikki ko. pisteissä henkilöautoista tehdyt havainnot.

Taulukko 6. Ajolinjakautumien huippuarvot ennen ja jälkeen reunaviivan maalaamisen, 20 cm:n luokitus (%)

Mittauspiste	Päivänvalo		Pimeä	
	Ei viivaa	Viiva	Ei viivaa	Viiva
2	8.38	9.65	13.46	18.75
3	9.28	12.18	11.11	11.59
4	9.23	11.33	13.24	12.32
5, suunta 1	11.48	15.15	10.00	11.70
5, suunta 2	8.79	11.62	11.04	12.62
6, suunta 1	12.72	14.18	10.37	13.11
6, suunta 2	10.66	11.59	11.43	11.83
Keskiarvo	10.08	12.24	11.52	13.13

Huippuarvot ovat sekä päivänvalossa että pimeällä reunaviivan maalaamisen jälkeen suurempia kuin ilman reunaviivaa ja - mikäli kaikkia seitsemää tapausta voidaan pitää riippumattomina - erot ovat tilastollisesti merkitseviä.¹¹ Huomattakoon, että keskimääräisten huippujen suhde (reunaviiva/ei reunaviivaa) on päivänvalossa 1.22 ja pimeällä 1.14. Nämä luvut voitaisiin periaatteessa tulkita niin, että päällysteen urautumista tapahtuisi tuossa suhteessa samaa liikennemäärää kohti (kysymyksessä ovat siis koko ajan vain henkilöautot). On kuitenkin huomattava, että päivänvalossa vastaantulevan liikenteen määrä yli mittauspisteiden laskettuna oli jälkeen-tilanteessa peräti 40 % suurempi kuin ennen-tilanteessa ja liikennemäärän muutosten ja huippujen muutosten korrelaatio 0.18. Näin ollen liikennemäärä selittää varmasti osan huippujen muutoksesta. Toisaalta niissäkin mittauspisteissä, joissa liikennemäärä ei muuttunut, suurimman kulutuksen huiput kasvoivat 15-23 %, joten myös reunaviivalla voidaan olettaa olevan vaikutusta huippujen suuruuteen (vrt. kuva 20). Pimeässä keskimääräinen vastaantulevan liikenteen määrä oli ennen- ja jälkeen-tilanteissa kutakuinkin sama (pieneni 3 %), ja korrelaatio liikennemäärän muutosten ja huippujen muutosten välillä oli 0.11.

4.2 Reunaviivan vaikutus liikenneturvallisuuteen

Jotta voitaisiin lähteä suuremmassa mitassa soveltamaan mahdollista reunaviivan maalaamista jättämistä, on arvioitava sen vaikutukset liikenneturvallisuuteen. Tulokset amerikkalaisista ennen-jälkeen tutkimuksista ovat hieman ristiriitaisia eivätkä tutkimuksetkaan ole kovin perusteellisia, mutta yleisesti ottaen reunaviivojen lisääminen näyttää vähentäneen liittymäonnettomuuksia, joskaan ei liittymien välillä sattuneita. O'Flahertyn (1972) mukaan tämän saattaa selittää se, että kuljettajat voivat paremmin tarkkailla edessäolevaa tietä ja havaita eteentulijat (miksei myös esim. edelläajavia liittymien välillä?), kun reunaviiva auttaa heitä sijainnin kontrolloimi-

¹¹ Päivänvalo (binomiaalitestillä 0/7): $p = .008$ (päivällä ero tosin on merkitsevä, vaikka mittauspistettä kohti olisikin vain yksi suunta mukana); pimeä (Wilcoxon, $T=2$): $p < .05$.

sessä; toisaalta Yhdysvalloissa reunaviivassa on liittymän kohdalla aukko, joten reunaviiva auttaa liittymien havaitsemisessa. Tuoreessa englantilaisessa tutkimuksessa (Charnock & Chessel, 1978) sen sijaan nimenomaan linjaonnettomuudet näyttäisivät vähentyneen reunaviivan maalaamisen ansiosta, mutta eivät liittymäonnettomuudet. Huomattavaa tässä tutkimuksessa oli se, että reunaviivan maalaamisen myönteinen vaikutus näyttää painottuneen välittömästi maalaamisen jälkeiseen aikaan. Aineisto oli kuitenkin pieni ja tilastollinen päätöksenteko osittain puutteellista, joten tuloksiin on syytä suhtautua varauksella.

O'Flaherty (1972) olettaa - tukeutumatta tutkimustuloksiin - että reunaviiva todennäköisesti vähentää jalankulkuonnettomuksia, koska sekä autoilijat että jalankulkijat tietävät, missä heidän alueensa raja on. Tähän liittyen suoritettiin tässä tutkimuksessa erillinen koe siitä, miten reunaviiva vaikuttaa autojen ja jalankulkijoiden väliseen etäisyyteen (turvamarginaaliin).

Mittauspisteessä 4 kerättiin kaksi aineistoa, ennen reunaviivan maalaamista ja sen jälkeen, joissa mitattiin autojen lähemmän (oikean) pyörän etäisyys jalankulkijaan, joka käveli päällysteen reunaa pitkin, yhden metrin etäisyydellä reunaviivasta (tai sen paikasta), mittauspisteeseen nähden 5-15 metrin etäisyydellä sen takana. Päivänvalossa vaihdeltiin 1/2 tunnin jaksoissa (tasapainotetusti) tilannetta, jossa jalankulkija käveli tien reunassa, ja kontrollitilannetta, jossa jalankulkijaa ei ollut näkyvissä. Pimeällä vaihdeltiin n. 15 minuutin jaksoissa kolmea tilannetta tasapainotetusti niin, että liikennemäärä (sen jatkuva pieneneminen), liikenteen koostumus tai vastaavat muutokset eivät päässeet vaikuttamaan tuloksiin. Tilanteet olivat kontrollitilanne, jalankulkija ilman heijastinta ja jalankulkija heijastimen (Liikenneturvan hyväksymän standardiheijastimen) kanssa.

Taulukossa 7 on esitetty henkilö- ja kuorma-autojen oikean pyörän keskimääräinen etäisyys jalankulkijaan (tai vastaavaan pisteeseen) eri tilanteissa päivänvalossa.

Taulukko 7. Henkilö- ja kuorma-autojen etäisyys jalankulkijaan (tai vastaavaan pisteeseen kontrollitilanteessa) sekä nopeus ennen ja jälkeen reunaviivan maalaamisen päivänvalossa

	Jalankulkijatilanne				Kontrollitilanne			
	Henkilö-autot		Kuorma-autot		Henkilö-autot		Kuorma-autot	
	Et. cm	Nop. km/h	Et. cm	Nop. km/h	Et. cm	Nop. km/h	Et. cm	Nop. km/h
<u>Ei viivaa</u>								
Keskiarvo	211.9	77.7	192.0	78.6	161.8	77.7	136.0	76.9
Hajonta	26.6	6.8	33.7	8.3	39.2	8.0	31.7	5.4
Lukumäärä	90	90	12	12	128	128	12	12
<u>Viiva</u>								
Keskiarvo	204.7	76.7	172.5	74.6	165.6	77.7	134.0	75.2
Hajonta	26.9	7.2	27.2	4.2	37.1	8.5	29.3	10.3
Lukumäärä	102	102	11	11	200	200	26	26
<u>Siirtymä</u>	-7.2		-19.5		+3.8		-2.0	

Viivan maalaamisen jälkeen ajettiin valoisa aikana jokin verran lähempänä jalankulkijaa kuin ennen viivan maalaamista - vaikka kontrollitilanteessa viiva siirsikin ajolinjoja muutaman senttimetrin keskemälle (henkilöautojen kohdalla; huomaa kuorma-autojen vain viitteelliset lukumäärät). Toisin sanottuna autoilijat väistivät jalankulkijaa kontrollitilanteeseen nähden enemmän silloin, kun tiellä ei ollut reunaviivaa. Huomattakoon, että vastaantulevan liikenteen vaikutusta ei ole kontrolloitu.

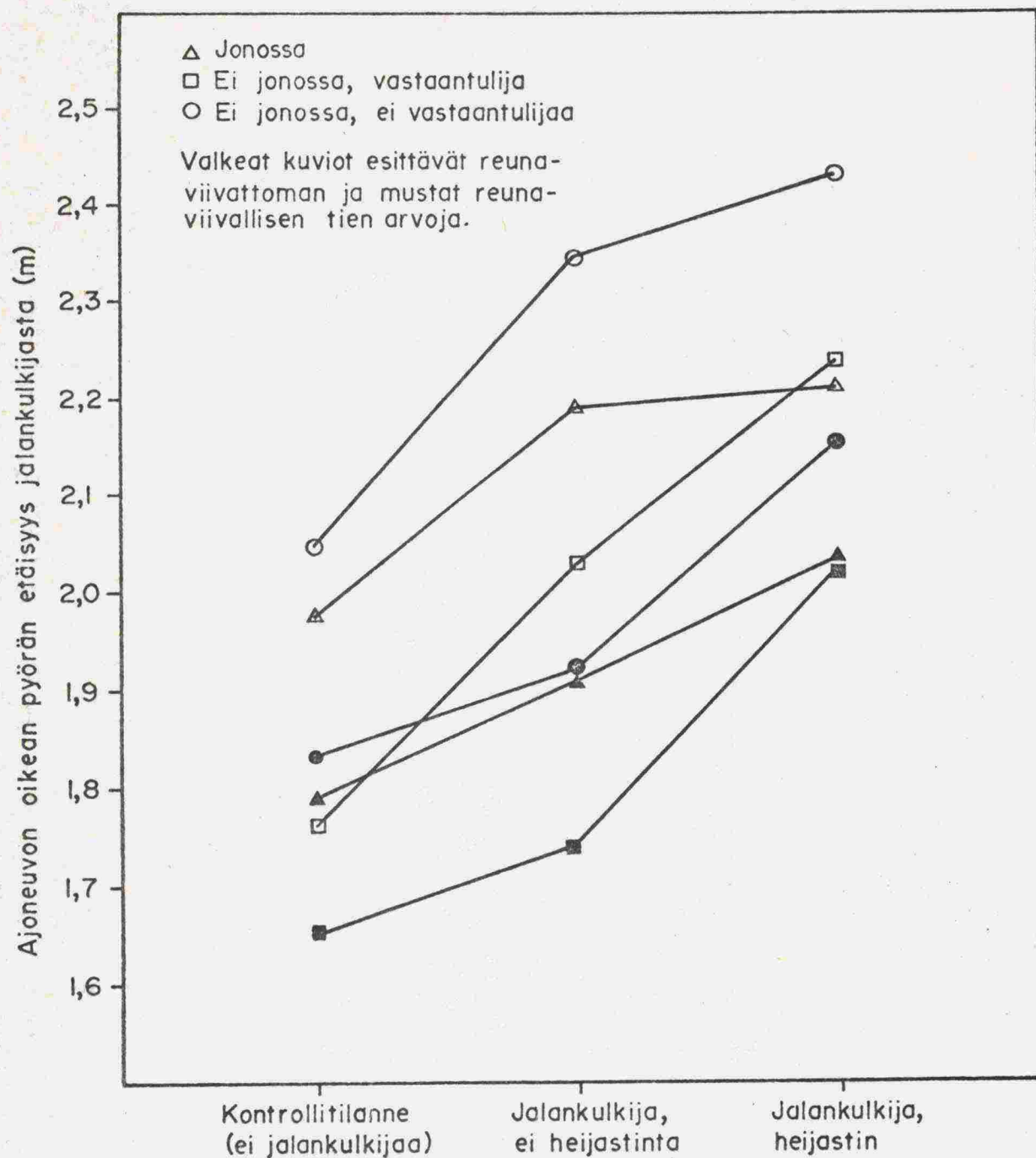
Pimeän ajan havainnot eroteltiin liikennetilanteen suhteen kolmeen ryhmään: (a) jonossa ajavat, (b) vapaat ajoneuvot, jotka ajavat lyhyillä valoilla vastaantulijan takia ja (c) vapaat ajoneuvot, jotka ajavat pitkillä valoilla. Taulukossa 8 on esitetty henkilöautojen oikeanpuoleisen pyörän etäisyys jalankulkijasta (tai vastaavasta pisteestä) eri jalankulku- ja liikennetilanteissa ennen ja jälkeen reunaviivan maalaamisen; taulukkoon 9 on laskettu jalankulkijan keskimääräinen väistäminen. Sama informaatio on esitetty kuvassa 30.

Taulukko 8. Henkilöautojen ja jalankulkijan keskimääräinen etäisyys (tai vastaava etäisyys kontrollitilanteessa) eri jalankulkija- ja liikennetilanteissa - pimeällä Ei = ei reunaviivaa, On = reunaviiva

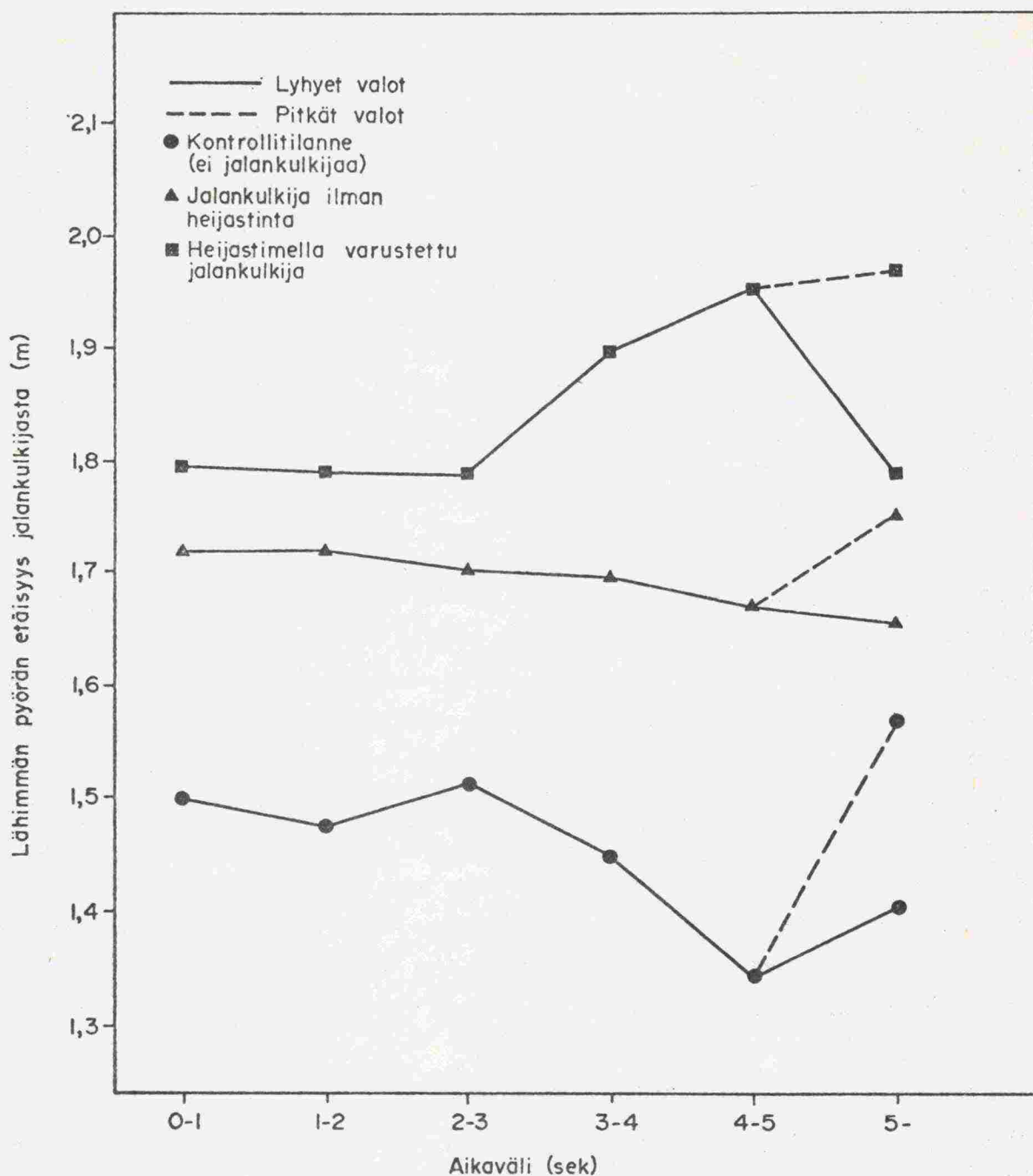
Jalankulku-tilanne	Liikennetilanne					
	Jonossa		Vapaa, vastaant. (lyhyet valot)		Vapaa, ei vast. (pitkät valot)	
	Ei	On	Ei	On	Ei	On
Kontrolli (ei jalankulkijaa)	196.8	178.9	176.2	165.0	204.7	183.4
Jalankulkija ilman heijastinta	218.8	191.0	202.4	174.6	234.7	192.1
Jalankulkija heijastimen kanssa	221.4	203.4	223.6	203.8	243.3	218.4
Yhteensä	212.3	191.1	200.7	181.1	227.6	198.0

Taulukko 9. Jalankulkijan keskimääräinen väistäminen (kontrollitilanteeseen verrattuna) eri liikennetilanteissa ennen (Ei) ja jälkeen (On) reunaviivan maalaamisen, cm

	Liikennetilanne					
	Jonossa		Vapaa, vastaant.		Vapaa, ei vast.	
	Ei	On	Ei	On	Ei	On
Jalankulkijalla ei heijastinta	22.0	12.1	26.2	9.6	30.0	8.7
Jalankulkijalla heijastin	24.6	24.5	47.4	38.8	38.6	35.0



Kuva 30. Henkilöautojen oikeanpuoleisen pyörän etäisyys jalankulkijasta (tai vastaava etäisyys kontrollitilanteessa) eri jalankulkija- ja liikennetilanteissa ennen ja jälkeen reunaviivojen maalaamisen (mittauspiste 4).



Kuva 31. Henkilöautojen oikeanpuoleisen pyörän etäisyys jalankulkijasta (tai vastaava etäisyys kontrollitilanteessa) aikavälin funktiona eri jalankulkijatilanteissa (mittauspiste 10).

Taulukko 10. Jalankulkijatilanne x Liikennetilanne x Reunaviiva-
varianssianalyysi (laskettu sellien keskiarvoista)

Lähde	SS	df	MS	F	a
Jalankulkija-tilanne (A)	3638.56	2	1819.28	279.03	.01
Liikennetilanne (B)	1430.08	2	715.04	109.67	.01
Reunaviiva (C)	2480.48	1	2480.48	380.44	.01
AB	225.44	4	56.36	8.64	.05
AC	205.12	2	102.56	15.73	.05
BC	86.40	2	43.20	6.62	.10
ABC	26.08	4	6.52		

Jalankulkijatilanteen vaikutus ajoneuvojen sijaintiin (päävaikutus A varianssianalyysissä; ks. taulukko 10) on selvä: kontrollitilanteeseen verrattuna ilman heijastinta oleva jalankulkija on siirtänyt autoja 18 cm keskitielle päin ja heijastin 17 cm lisää. Samoin on liikennetilanteen vaikutus (B): pitkillä valoilla ajavat vapaat ajoneuvot ovat kaikkein lähimpänä keskiviivaa, jonotilanteessa ajettiin 11 cm reunemmassa ja lähivaloilla kohtaamistilanteessa toiset 11 cm reunemmassa. Myös kolmas päävaikutus, reunaviiva, oli tilastollisesti merkitsevä: ilman reunaviivaa ajettiin 23.5 cm lähempänä tien keskiviivaa kuin viivan maalaamisen jälkeen.

Ilman reunaviivaa väistettiin jalankulkijaa kontrollitilanteeseen nähden kaikissa liikenne- ja jalankulkijatilanteissa (sekä heijastimen kanssa että ilman) enemmän kuin silloin, kun reunaviiva oli maalattu (ks. taulukko 9), joskin ero oli heijastintilanteessa suhteellisen pieni (keskim. 4.1 cm; ilman heijastinta keskim. 16 cm: vrt. melkein merkitsevä AC-interaktio). Huomattakoon, että tässä tutkimuksessa jalankulkija käveli aivan päällysteen reunassa sekä silloin, kun tiellä ei ollut reunaviivaa että silloin, kun reunaviiva oli maalattu. Reunaviivalla voi kuitenkin olla vaikutusta siihen, missä kohti tietä jalankulkijat yleensä kävelevät: voidaan olettaa,

että silloin, kun reunaviiva on maalattu, jalankulkijat tietävät, missä heidän "oma" alueensa sijaitsee ja uskaltavat käyttää kulkutienään leveämpää aluetta tiestä kuin silloin, kun reunaviiva ei ole näkyvissä.

Melkein merkitsevä (5 %:n riskitasolla) jalankulkijatilanne x liikennetilanne -interaktio paljastaa liikenneturvallisuuden kannalta mielenkiintoisen seikan: heijastimen vaikutus jalankulkijan väistämiseen on huomattavasti pienempi jonossa ajettaessa (keskim. 7.5 cm) kuin muissa liikennetilanteissa (keskim. 17.5 cm ilman vastaantulijaa ja 25.2 cm kohtaamistilanteissa). Selitys löytynee hyvin yksinkertaisesti siitä, että jonossa ajettaessa ei jalankulkijaa edellä ajavan takaa nähdä riittävän aikaisin, vaikka tällä olisi millainen heijastin tahansa. Tätä tukeva tulos saatiin, kun mittauspisteessä 10 (Hämeenlinnantiellä) kerättiin perjantai-illan ulosmenoruhkassa ylimääräinen jalankulkija-aineisto, johon saatiin runsaasti jonoajohavaintoja. Kuvassa 31 on tähän aineistoon perustuen esitetty henkilöautojen oikean pyörän etäisyys jalankulkijasta (tai vastaavasta pisteestä) aikavälin funktiona. Kuvasta voidaan nähdä, että heijastimen vaikutus "pimeään" jalankulkijaan verrattuna alkaa kasvaa vasta n. kolmen sekunnin aikavälistä lähtien. (Aikaväli x liikennetilanne -interaktio), kun aikaväli on ryhmitetty luokkiin 0-3 ja 3-5 sek., on kuitenkin ainoastaan 10 %:n riskitasolla merkitsevä: $F_{2,511} = 2.96$). Kolmen sekunnin aikaväli vastaa käytetyillä nopeuksilla n. 60-70 metrin etäisyyttä edellä ajavaan. Saadun tuloksen voisi siis tarkemmin tulkita siten, että kuljettajan tarkkaavaisuus on kohdistunut edellä ajavaan ajoneuvoon vielä silloinkin, kun hän jo hyvin pystyisi näkemään (heijastimella varustetun) jalankulkijan ja ehtisi reagoida tähän siirtymällä keskemälle tietä, kuten yli 3 sekunnin aikavälillä näyttää tapahtuvan.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa todettiin eri tienkohdissa reunaviivojen maalaamisen jälkeen kahdenlaisia muutoksia ajoneuvojen sijainnissa ajoradalla verrattuna tilanteeseen, jossa reunaviivoja ei ollut.

- (a) Reunaviivojen maalaamisen jälkeen ajolinjajakautumien huiput olivat korkeampia.
- (b) Reunaviivojen maalaamisen jälkeen ajolinjajakautumien sijainnissa todettiin muutoksia siten, että (suoralla tieosalla) tapahtui päivänvalossa siirtymä keskitien suuntaan ja pimeällä tien reunan suuntaan. Tämä aiheutti sen, että ajolinjojen vaihtelu valoisuuden funktiona pieneni ja kulutus keskittyi täten suppeammalle alalle.

Reunaviivan vaikutuksen ohella voidaan em. muutoksille esittää vaihtoehtoinen selitys, vastaantulevan liikenteen määrä, jota tässä tutkimuksessa ei voitu täysin kontrolloida. Summalan (1974) tutkimuksessa vastaantuli- ja siirsi ajoneuvon sijaintia keskimäärin 17 cm reunemmaksi, ja myös ajolinjojen hajonnan pieneneminen on odotettavissa vastaantulijan lähestyessä (tehtävän vaikeutuessa; ks. McLean & Hoffman, 1972). Toisaalta vastaantulevan liikenteen määrä oli joissakin mittauspisteissä ennen- ja jälkeen-tilanteissa yhtä suuri, joten näissä pisteissä em. muutokset varsin todennäköisesti olivat reunaviivan aiheuttamia.

Huippujen kasvu (=hajonnan pieneneminen) reunaviivan vaikutuksesta on luonnollista ainakin silloin, kun ajolinjojen hajonta ilman reunaviivaa on suuri ja ajolinjat menevät selvästi reunaviivan päälle (ks. kuva 20): reunaviiva tavallaan rajoittaa ajolinjan valintaa. Samoin on selitettävissä ajolinjojen siirtyminen reunaviivan vaikutuksesta keskitielle päin (päivänvalossa; ks. kuvat 24 ja 25). Sen sijaan se, miksi tällaista siirtymää ei esiintynyt kaikissa mittauspisteissä, jää tämän tutkimuksen perusteella selvittämättä. Pimeällä, jolloin yleensäkin ajetaan keskemmällä, reunaviiva siirsi alkuperäisen hypoteesin mukaisesti ajolinjoja reunaan päin (kuva 26). (Sama tulos voitiin todeta jalankulkijatutkimuksessa - ks. kohta 4.2 - siten, että vastaantulijan vaikutus oli kontrolloitu.)

On huomattava, että em. tulokset perustuvat vain muutamaan poikkileikkaukseltaan samanlaiseen (10/75) tienkohtaan, joten niiden perusteella ei yleistyksiä voi liiemmästi tehdä. Voitaaneen kuitenkin arvioida, että ainakin joissakin tapauksissa reunaviivan maalaamatta jättämisellä voitaisiin jo sinänsä vähentää tien urautumista, toisaalta sen ansiosta, että reunaviivattomalla tiellä ajolinjakautuman huiput (suurimman kulutuksen kohdat) ovat pienempiä, ja toisaalta siksi, että kulutuksen vuorokausivaihtelu (ajoneuvojen sijainnin vaihtelu valoisuuden funktiona) tien poikkileikkauksessa on ilmeisesti suurempi. Toiseksi reunaviivan vaikutuksia ajolinjoihin voitaisiin ainakin joissakin tapauksissa käyttää hyväksi myös toisella tavalla, antamalla reunaviivojen kulua ja lykkäämällä uusintamaalauksista jonkin aikaa tai - ehkä tehokkaammin - niin, että lykätään reunaviivojen maalamista päällystämisen jälkeen. Tällä tavalla voitaisiin pitemmissä jaksoissa siirtää kulutushuippuja tien poikkileikkauksissa.

Reunaviivan hyväksikäyttöön liittyvät turvallisuusnäkökohdat jäävät kuitenkin avoimiksi. Ulkomaisten tutkimusten perusteella on mahdollista, että reunaviivan käyttö vähentää onnettomuuksia ja sen pois jättäminen ei näin ollen olisi suotavaa. Toisaalta tässä tutkimuksessa todettiin, että pientareen äärimmäistä reunaa kulkevan jalankulkijan ja ohikulkevien autojen välinen keskimääräinen turvamarginaali ¹² oli jopa suurempi

¹² Voitaneen esittää, että keskimääräinen turvamarginaali heijastaa tiettyä osaa onnettomuusriskistä, ts. ns. normaalitilanteeseen - tilanteeseen, johon ei sisälly mitään poikkeuksellista - sisältyvää riskiä. Esimerkiksi kun vastaantuleva ajoneuvo pakottaa ohittamaan jalankulkijan lähempää kuin "vapaassa" tilanteessa, keskimääräinen turvamarginaali aivan ilmeisesti pienenee ja arviointiin ja ohjaukseen sisältyvän normaalin vaihtelun mahdollisuus tuottaa kohtalekas siirtymä lisääntyy. Tässäkin tilanteessa on kuitenkin mahdollista kompensoida pienemmän etäisyyden aiheuttamaa riskin lisäystä suuremmalla tarkkuudella - valppaudella ja ponnistuksella - niin, että em. normaali vaihtelu vähenee. Tästä syystä keskimääräinen turvamarginaali (esim. jalankulkijan ja ohiajavan autojen välinen etäisyys) ei ole riittävä riskin mitta, vaan se täytyy suhteuttaa turvamarginaalien hajontaan. (Tässä tutkimuksessa oli kuitenkin suhteellisen pienistä otoksista johtuen tyydyttävä keskimääräiseen turvamarginaaliin, joskaan hajonnoissa ei myöskään todettu systemaattisia, johtopäätöksiin vaikuttavia eroja.)

Em. "normaaliin toimintaan" sisältyvän riskin lisäksi on erotettava poikkeuksellisista, "epänormaaleista" tapahtumista aiheutuva riski. Tällaiset tapahtumat voivat vaihdella huo-

tilanteessa, jossa reunaviivaa ei ollut - riippumatta liikennetilan-
lanteesta. Reunaviivalla voi kuitenkin olla vaikutusta jalankulki-
joiden sijaintiin niin, että sen puuttuessa kuljetaan lähempänä
tien reunaa.

Päällysteen kulumisnäkökohdat näyttävät siten tämän tutkimuksen
perusteella puoltavan laajemman reunaviivan käyttöä/käyttämättö-
myyttä koskevan kokeilun toimeenpanemista, mutta turvallisuusnä-
kökohdat pääosaltaan eivät. Tarkempaa kustannus-hyötyanalyysiä
varten tietomme eivät kuitenkaan ole riittäviä, eikä tässä tutki-
muksessa ole edes pyritty arvioimaan esim. sitä, kuinka kauan
reunaviiva on talvella lumen ja jään peitossa.

Mikäli reunaviivakokeilu pantaisiin toimeen, voitaisiin suosi-
tella, että sen kohteeksi otettaisiin joukko päällystettäviä
tieosia, joista osalle maalattaisiin pelkkä keskiviiva ja osalle
keski- ja reunaviiva. Päällysteen kulumista seurattaisiin, ja
sopivan ajan kuluttua reunaviivattomille teille (tai osalle niis-
tä) maalattaisiin reunaviivat jaksottaisuuden aikaansaamiseksi.
Eri ajoneuvotyyppien aiheuttaman kulutuksen samoin kuin valoisuu-
den, sään ja vuodenajan (vrt. nastarenkaiden aiheuttama kulutus)
aiheuttamien vaihteluiden selvittämiseksi voitaisiin kokeilun
kestäessä suorittaa myös ajolinjamittauksia. Mikäli taas mahdol-
lisia reunaviivan puuttumisesta aiheutuvia turvallisuusriskejä
pyritään välttämään, voitaisiin reunaviivan sijaintia vaihtele-
malla pyrkiä vaikuttamaan ajoneuvojen sijaintiin.

Tämä tutkimus oli myös alku perustietojen keräämiselle ajoneuvojen
sijainnista tien poikkileikkauksessa mm. poikkileikkausten, ajora-
tamerkintöjen ja optisen johdatuksen suunnittelua varten. Yhtä
mittauspistettä koskevista analyyseissä (poikkileikkaus 9.3/7.4,
nopeusrajoitus 100 km/h) voitiin todeta, että ajonopeuden aiheut-
tama vaihtelu henkilöautojen keskimääräiseen sijaintiin oli päi-
vällä 20 cm:n luokkaa ja pimeällä 50 cm:n luokkaa (nopeammat aja-
vat keskemällä) ja aikavälin aiheuttama vaihtelu 20 cm:n luokkaa

mion täydellisestä kiinnittämisestä muualle tai ottaen ohjaus-
pyörästä lipsahtamisesta sairauskohtaukseen. Tällaisia tapah-
tumia on niiden harvinaisuudesta johtuen hyvin vaikea mitata
tai havainnoida, mutta voitaneen sanoa, että pienet turvamargi-
naalit lisäävät niiden mahdollisuuksia johtaa onnettomuuksiin
(ks. Näätänen & Summala, 1976, s. 237-239).

(pienimmillä aikaväleillä ajetaan lähimpänä keskiviivaa, 4-5 s:n aikaväleillä lähimpänä reunaviivaa).

Yleisesti voidaan todeta, että henkilöautojen pääasiallinen liikkuma-ala sivusuunnassa vaihteli eri mittauspisteissä ja olosuhteissa 3 ja 3.6 m:n välillä. Henkilö- ja kuorma-autojen liikkuma-alassa ei ollut eroja (vrt. kuvat 16, 17 ja 21-23); vastaavasti kuorma-autojen ajolinjojen hajonnat olivat selvästi henkilöautojen ajolinjojen hajontoja pienempiä. Liikkuma-alat vastasivat 100 km/h rajoitusalueilla olevissa mittauspisteissä (2,3,10) mitoitusnormin mukaista ajoneuvon leveyttä ja liikkumisvaraa (3.5 m; ks. TVL, normaalimääräykset ja ohjeet, 1968), mutta olivat suurempia 60 ja 80 km/h:n rajoitusalueiden pisteissä, joissa vastaavat mitoitusnormit ovat 2.5 ja 3 m. (Lisäksi on mitoitusohjeissa määriteltä ajovarmuusvaraksi 25 cm ajoradan reunaan nähden ja 50 cm ajoneuvojen välissä.) Huomattakoon, että henkilöauton leveydeksi (asetuksen sallima enimmäismitta) on mitoitusohjeissa laskettu 2 m, kun se todellisuudessa lienee keskimäärin runsaat 1.5 m (leveys renkaiden ulkosyrjästä ulkosyrjään hieman alle 1.5 m). Liikkumisvaraksi on 80 km:n tuntinopeudella määriteltä 1 m ja 100 km:n tuntinopeudella 1.5 m, kun taas tässä tutkimuksessa ajoneuvojen liikkuma-ala ilman ajoneuvon leveyttä vaihteli 1.5 ja 2.1 m:n välillä.

Tässä tutkimuksessa mittauksia suoritettiin pääasiallisesti vain poikkileikkauksen 10/7.5 omaavilla teillä. Lisäksi ei tässä vaiheessa voitu mitata etäisyyttä vastaantulevaan ajoneuvoon eikä sijaintia jonossa (vaikkakin aikaväli edellä ajavaan voitiinkin mitata). Jatkotutkimuksessa tulisi nämä seikat ottaa huomioon samalla kun se tulisi ulottaa poikkileikkaukseltaan vaihteleville teille.

LÄHDELUETTELO

- Arizona Highway Department
Delineators vs. edge stripe, cost and effect. Arizona Highway Department research report, June, 1963.
- Bondestam, L.
Sidolägesmätningar i Halland och på Sjö lland. Stockholm: Statens väginstitut, specialrapport 37, 1965.
- Case, H.W.,
Hulbert, S.F.,
Mount, G.E. &
Brenner, R.
Effect of a roadside structure on lateral placement of motor vehicles. Highway Research Board Proceedings, 1953, 32, 354-370.
- Charnock, D.B. &
Chessel, B.A.C.
Carriageway edgelineing and the effects on road safety. The report of a two-year study in East Sussex. Traffic Engineerin & Control, 1978, 19 (1), 4-7.
- Geller, H.A.,
Damkot, D.A. &
Toussie, S.R.
A data acquisition system for unobtrusive measurement of on-road driving behavior. Behavior Research Methods & Instrumentation, 1975, 7 (6), 526-530.
- Green, F.H.
Method of recording lateral position of vehicles. Highway Research Board Proceedings, 1946, 26, 397-404.
- Kaukinen, R.
Poliisivalvonnan vaikutus ajonopeuteen ja autoilijan ajotapaan kaarteessa. Taljan tutkimuksia 25/1971, 51-66.
- Knoflacher, H. &
Schrammel, E.
Einfluss der Fahrbahnlängsmarkierung auf das Fahrverhalten der Fahrzeuglenker. Kuratorium für Verkehrssicherheit, Verkehrstechnischer Informationsdienst, 1975, 1.
- Lehtimäki, R.
Tutkimus ajolinjoista ja ajonopeuksista. Taljan tutkimuksia 25/1971, 1-50.

McLean, J.R. &
Hoffmann, E.R.

The effects of lane width on driver steering control and performance. Proceedings of the Sixth Conference of Australian Road Research Board, 1972, 6(3), 418-440.

Näätänen, R. &
Summala, H.

Road-User Behavior and Traffic accidents. Amsterdam: North-Holland, 1976.

O'Flaherty, C.A.

Delineating the edge of the carriageway in rural areas. Research and Development in Roads and Transport. The International Road Federation, 1971, 403-437, reprinted by Traffic Engineering and Control, 1972.

Rørbech, J.

The multi-lane traffic flow process. Copenhagen: Ministry of Public Works, Road Department, 1974.

Siegel, S.

Nonparametric statistics for the behavioral sciences. New York: McGraw-Hill, 1956.

Summala, H.

Liikennevirran onnettomuuspotentiaali kuljettajan käyttäytymisen valossa. Tie- ja vesirakennushallituksen julkaisu 2623, 1974.

Thomas, I.L. &
Taylor, W.T.

Effect of edge striping on traffic operations. Highway Research Board B Bulletin, 1960, 244, 11-15.

Thompson, J.T. &
Hobden, N.

A study of the passing of vehicles on highways. Public Roads, 1937, 18, 121-137.

Tie- ja vesirakennus-
hallitus

Nastarenkaiden vaikutus raskaiden ajoneuvojen hallittavuuteen. Tie- ja vesirakennushallituksen julkaisu n:o 742016, 1978.

Tie- ja vesirakennus-
hallitus

TVL:n normaalimääräykset ja ohjeet. Tie- ja vesirakennushallituksen julkaisu n:o 722300, 1968

Valtion teknillinen
tutkimuskeskus

Nastarenkaita koskevat liikenneteknilliset tutkimukset 1974-1975. Heinäkuu 1976.

Williston, R. M.

Effect of pavement edge markings on operator behavior. Highway Research Board Bulletin, 1960, 266, 8-27.